This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

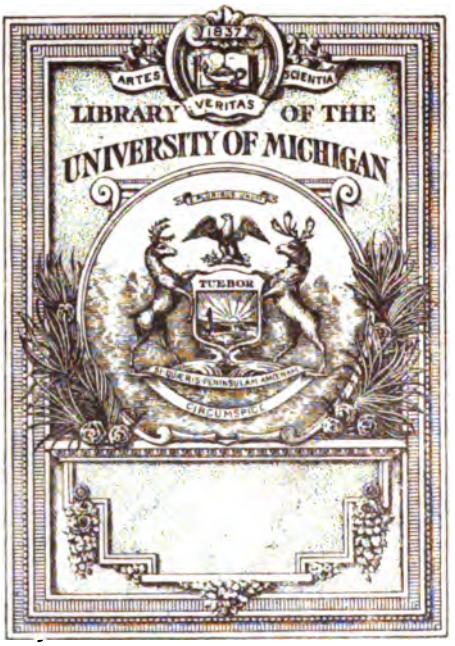
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

B 482121


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

Physics Lib.
QC
601
.H458

PRODROME

DE LA

THÉORIE MÉCANIQUE

DE

L'ÉLECTRICITÉ

(Extrait des *Mémoires de la Société royale des Sciences de Liége*,
3e série, t. V, 1903.)

PRODROME

DE LA

THÉORIE MÉCANIQUE

DE

L'ÉLECTRICITÉ

PAR

P.re DE HEEN

Professeur de physique expérimentale à l'Université de Liége
Membre de l'Académie royale de Belgique.

BRUXELLES

HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

112, rue de Louvain, 112

1903

AVANT-PROPOS

Nous avons dans toutes nos recherches adopté la méthode qui consiste à les faire tendre toutes vers un but unique que nous nous proposions de réaliser au début. Chaque travail isolé lorsque nous le publiions, représentait pour nous un des rouages d'un ensemble que nous avions en vue. Cette pièce, de même que l'arbre ou la roue isolés, devait dès lors subir la retouche qui s'impose lorsqu'il s'agit du montage définitif. Il nous eût été évidemment facile de ne pas montrer au public ces pièces non retouchées, de ne publier le travail qu'après son achèvement. Mais, dans ces conditions, la priorité de l'observation de plusieurs faits nous eût échappé, et, d'autre part, il semblait utile de montrer le développement d'une idée naissante, malgré toutes les faiblesses qui président à l'enfance. Cependant ce dernier point de vue ne correspond pas à la réalité. L'idée que l'on pourrait désigner sous le nom d'embryonnaire, au lieu d'éveiller la curiosité et de pousser à l'examen, ne produit que l'indifférence, si pas davantage.

Le travail que nous présentons aujourd'hui au lecteur est le résultat de la condensation des expériences et des réflexions auxquelles nous nous livrons depuis sept ans sur la nature de l'électricité. Pris *dans son ensemble*, il exprime la conclusion finale à laquelle nous nous arrêtons.

Une méthode semblable nous a guidé dans le travail auquel nous nous sommes livré précédemment sur les phénomènes

303459

calorifiques. Ces recherches sont condensées dans un livre intitulé : « La chaleur » (1876-1894) (1). Elles ont été particulièrement étudiées et ont fait l'objet de travaux de deux physiciens dont le monde scientifique déplore la perte prématurée : Bartoli et Nadejdine. Qu'il me soit permis d'exprimer ici mes regrets et toute ma reconnaissance.

Un chapitre n'avait pas encore reçu, à cette époque (1894), sa forme définitive, celui qui concerne la région critique. Il a été publié peu de temps après en langue allemande (2).

L'expérience que j'ai acquise par cette première publication m'a montré combien il est malaisé de faire adopter des vues et même des faits nouveaux qui contrarient les idées régnantes. C'est seulement à l'heure actuelle que les idées sur le point critique semblent s'orienter en notre faveur. Pour ce qui concerne le présent travail, dont les vues, si elles étaient adoptées, auraient une portée plus considérable, nous ne nourrissons aucune espèce d'illusion; il faudra du temps, peut-être beaucoup de temps.

(1) Desoer, éditeur, Liége.

(2) *Zeitschrift für kompr. und flüss. Gase,* SS. 7, 8, 9; 1898.

INTRODUCTION

Dès l'antiquité, les philosophes naturalistes ont tâché de se représenter par une image la constitution intime de la matière; de se faire une idée du spectacle qui se développerait sous nos yeux si, possédant le pouvoir de grossir plusieurs milliards de fois une particule matérielle, et de transformer les secondes en siècles, nous voyions, d'une part, apparaître les derniers éléments constitutifs et, d'autre part, si nous pouvions nous rendre compte de la nature des mouvements qui les agitent.

Si nous nous plaçons à ce point de vue, nous voyons la sagacité des physiciens s'attacher particulièrement aux phénomènes calorifiques, dont la cause première se trouverait dans un mouvement d'agitation particulier des éléments. Bernouilli, Clausius, Maxwell, Helmholtz, W. Thomson, Bolzmann, Gibbs et d'autres encore ont enrichi par leur talent cette partie de la physique, et bien que la solution définitive de la question ne puisse être considérée comme donnée, les résultats obtenus présentent déjà un grand intérêt.

Plusieurs tentatives ont été également faites dans le même sens afin de rendre compte des phénomènes électriques. On peut citer celles de Zenger, de Maxwell, de Lodge, qui nous semblent toutes renfermer une part de vérité.

L'essai que nous avons fait et que nous proposons nous semble permettre la conception de liens entre des propriétés qui jusqu'ici étaient restées étrangères, et il nous a permis de

mettre au jour de nouveaux faits, ce qui, nous le pensons, justifie son utilité.

Ce qui intéressera sans doute le lecteur, c'est que la théorie que nous proposons nous a conduit par un chemin bien différent à la conception de l'*éther gyroscopique* de Helmholtz et à l'*atome vortex* de Thomson ; mais il faudra introduire dans la traduction analytique de notre théorie une fonction de l'orientation des mouvements tourbillonnaires.

On doit à M. Duhem un résumé très clair des idées qui constituent les fondements des théories mécaniques proposées pour expliquer la constitution de l'univers substantiel. Mais, à mon avis, il se dégage de ce travail une connaissance certainement aussi intéressante que celle des théories elles-mêmes : celle de l'état psychique des hommes qui ont contribué et qui contribuent à l'avancement des sciences. Ces hommes se divisent en deux grandes classes : les *synthétistes* et les *analystes*, et l'on peut dire que cette division est telle que ces esprits, lorsqu'ils sont bien dessinés, sont séparés à tel point qu'ils sont absolument incapables de se concevoir mutuellement. Ils ont vis-à-vis les uns des autres des apparences singulières et paradoxales.

Si nous considérons les hommes les plus éminents, le *type analyste* est représenté par Poincaré, Duhem, etc., le *type synthétiste* par W. Thomson (Lord Kelvin), Helmholtz, etc.

Afin de nous faire une idée nette de ces états mentaux, nous laisserons parler M. Duhem... « L'emploi de modèles peut même » devenir indispensable à certains géomètres dont la faculté » d'abstraire est moins puissante que l'imagination ; et parmi » ceux-ci on doit compter quelques-uns des plus grands physi- » ciens de ce temps qui souscriraient à ces paroles de W. Thom- » son : Il me semble que le vrai sens de la question : Compre-

» nons-nous ou ne comprenons-nous pas un sujet particulier de
» la Physique? est celui-ci : Pouvons-nous faire un modèle
» mécanique correspondant? Je ne suis jamais satisfait tant que
» je n'ai pu faire un modèle mécanique de l'objet; si je puis
» faire un modèle mécanique, je comprends; tant que je ne puis
» pas faire un modèle mécanique, je ne comprends pas.

» De telles exigences intellectuelles, une pareille identifica-
» tion entre les deux mots *comprendre* et *imaginer* surprennent
» grandement, j'oserais presque dire : scandalisent ceux qui
» peuvent comprendre sans le secours de représentations
» géométrique ou mécanique. »

S'il m'était permis d'exprimer mon sentiment, je dirais qu'en substituant au mot *modèle* le mot *image*, il m'est *tout à fait impossible* de concevoir les choses autrement que W. Thomson. La conclusion finale peut se résumer en disant qu'il existe des intelligences qui sont incapables de se concevoir mutuellement; leurs sentiments, leurs aspirations, leurs modes de conception ne se ressemblent *en aucun point.*

Pour les uns, la recherche d'une interprétation mécanique de la nature se réduit à un enfantillage; pour d'autres, c'est le seul but de leurs aspirations; cette pensée, cette espérance peut se comparer à cette consolation que semble rencontrer l'homme naturellement religieux, dans ses méditations.

Où est la vérité? L'univers est-il interprétable mécaniquement? Aucun raisonnement rigoureux ne pourrait en donner la preuve; c'est une *croyance* indispensable au *synthétiste.* Mais il serait aussi impossible à l'*analyste* de démontrer qu'il en est autrement, car ce que nous voyons semble bien indiquer l'existence d'un mécanisme très parfait, probablement très simple. Et en se plaçant au point de vue pratique, on peut dire

que ce sentiment de *croyant* a conduit à des découvertes de premier ordre.

L'esprit qui nous a guidé en écrivant ce travail est exactement le même que celui qui a guidé Lodge dans son livre intéressant : « Les théories modernes et l'électricité ». Voici du reste des réflexions que nous extrayons de la préface de cet auteur :

« Il y a peu de choses dans toute la Physique qui paraissent » plus certaines que celle-ci, que ce qu'on a longtemps appelé » Électricité est une forme ou mieux une manifestation de » l'éther.

» Les termes *électrisation* et *électrique* peuvent subsister, mais » le mot Électricité doit disparaître peu à peu... La chaleur a » été prise d'abord pour une forme de la matière; on sait main- » tenant que c'est une forme de l'énergie, mais qu'est-ce que » l'énergie? L'électricité a également passé pour une forme de » l'énergie, mais on a montré que c'était une forme de » l'éther. » Cette pensée était du reste également adoptée par Edlund.

Les remarques du traducteur M. E. Meylan sont fort intéressantes. C'est ainsi qu'il dit : « ... Les premiers modèles méca- » niques de M. Lodge feront peut-être sourire le lecteur fran- » çais pas habitué à de semblables conceptions. » Nous pensons que des considérations semblables aux siennes n'auraient produit qu'une profonde indifférence, si elles avaient été formulées par une personne appartenant à un peuple où les sciences sont moins en honneur qu'en Angleterre.

Le traducteur fait ensuite observer que « M. Poincaré a » montré qu'il était illusoire (le mot *oiseux* est peut-être plus » caractéristique) d'espérer jamais connaître la nature réelle de » ce milieu (électrique), car dès que l'on aura trouvé une

» solution, on pourra en imaginer une infinité d'autres qui
» satisferont aussi bien aux conditions mécaniques. »

Je suis disposé à croire que la pensée de l'illustre mathématicien est juste, si l'on désigne sous le nom de théorie nouvelle chacun des termes des phases de l'évolution d'une conception fondamentale; mais je pense que la forme sous laquelle elle est présentée peut donner lieu à des interprétations qui ne correspondent pas à la pensée de son auteur. Il est peu probable, en effet, que celui-ci puisse avoir l'idée de contester l'hypothèse d'après laquelle on admet que la lumière correspond à une oscillation, et je vois encore moins l'infinité d'hypothèses que l'on pourrait substituer à celle-ci. De la même manière, si en se basant sur l'observation et sur le raisonnement, on arrive à montrer que le phénomène électrique correspond au tourbillon, cela sera certainement tout aussi intéressant, et la possibilité d'une infinité d'hypothèses nous échappe tout aussi bien.

Cependant le traducteur ajoute : « Cela ne veut pas dire qu'il
» faille renoncer à ces recherches, car il est bien certain qu'une
» solution un peu générale serait un puissant moyen d'investi-
» gation et permettrait de soupçonner l'existence de phéno-
» mènes encore inconnus, comme on en a vu des exemples
» éclatants avec la théorie mécanique de la chaleur et la
» théorie cinétique des gaz. »

Ces paroles sont un peu plus encourageantes, mais il faut bien dire que si les analystes étaient parvenus à communiquer le sentiment de désespérance qui imprègne tous leurs écrits, bien des découvertes n'auraient jamais vu le jour.

Nous ne pensons pas être mauvais prophète en disant que la suite des temps montrera de plus en plus combien serait funeste

ce découragement, je dirais cette espèce de lâcheté vis-à-vis de l'inconnu, s'il s'emparait de tous les êtres pensants.

Dans l'étude de la nature, la vérité n'apparaît pas dès l'origine dans toute sa splendeur et tout d'une pièce, de même que, dans le monde mathématique, elle se montre progressivement, souvent voilée et avec une grande lenteur.

En écrivant ces lignes, nous pensons avoir montré quelle sera la voie qui sera suivie par les électriciens de l'avenir. Nous sommes soutenu dans cet espoir par l'adoption déjà générale de vues que le Dr Gustave le Bon et moi avions soutenues les premiers. Bien que plusieurs physiciens n'aient pas cru devoir tenir compte de cette particularité, le fait n'est pas moins encourageant pour moi. Mais, d'autre part, la tâche sera longue et difficile, car si certaines parties de la question nous apparaissent maintenant clairement, d'autres suscitent encore des difficultés considérables. Ce sont celles-là qui découragent les analystes, mais certainement bien à tort, car telle question qui nous apparaît maintenant comme obscure apparaîtra probablement dans toute sa clarté lorsque le *temps* aura mûri l'idée nouvelle. En se plaçant à un autre point de vue, on peut dire que la *physique qualitative* qui sert de fondement à la physique quantitative moderne, résultat des travaux de Faraday, n'est pas achevée. Bien des faits n'ont pas été vus ou ont été incomplètement observés. Il est donc urgent d'y revenir avant de poursuivre la construction de l'édifice quantitatif, dont les lézardes résultant de l'insuffisance de base se montrent chaque jour plus profondes.

PRODROME

DE LA

THÉORIE MÉCANIQUE

DE

L'ÉLECTRICITÉ

CHAPITRE PREMIER.

Phénomènes électrostatiques.

Contrairement à la manière dont les phénomènes électriques ont été présentés jusqu'à présent, nous introduirons en tête de ces développements une hypothèse fondamentale que le lecteur pourra considérer comme fictive ou comme réelle, suivant les sentiments qui le guident, hypothèse qui nous servira de fil conducteur, ainsi que cela se fait pour d'autres chapitres de la physique.

§ 1. — *Hypothèses.*

Il résulte de l'ensemble des connaissances que nous possédons actuellement sur la nature de l'électricité qu'une hypothèse

capable de rendre compte du mécanisme de ce phénomène doit, à la fois, posséder en elle : 1° la notion d'orientation; 2° la notion de pressions et de dépressions d'éther (Franklin, Lodge, etc.); 3° elle doit tenir compte du caractère tourbillonnaire que présentent un grand nombre de ces manifestations (Zenger).

Nous admettrons que l'élément matériel auquel nous donnerons le nom d'*ion* (il ne s'agit évidemment pas du dernier élément métaphysique) se compose, dans sa conception la plus simple : 1° d'un élément substantiel rectiligne *ab* (fig. 1), auquel nous donnerons le nom de *bâtonnet ;* 2° de deux tourbillons circulaires, plans α, β, d'éther condensé dont les centres correspondent avec chacune des extrémités *a, b* du bâtonnet. Nous désignerons ces tourbillons sous le nom d'*électrons*.

Si ce système vient à être soumis extérieurement à une pression d'éther *p*, les électrons prennent la forme conique α', β', et réciproquement cette forme tourbillonnaire est accompagnée d'un accroissement de pression dans l'éther ambiant. Une dépression de l'éther amènera la déformation inverse α'', β''.

A l'inflexion α', β' correspond une tension d'autant plus grande que l'angle γ est plus petit. Nous désignerons la tension α', β' sous le nom de tension positive, et nous admettrons qu'à cette manifestation correspond une charge électrique positive.

Inversement, nous admettrons qu'à l'inflexion α'', β'' correspond une tension électrique négative.

Lorsque deux électrons *e*, *e'* (fig. 2) sont orientés de manière que la partie concave coïncide avec la partie convexe, ces deux tourbillons électroniques se raccordent par l'intermédiaire de l'éther ambiant. L'axe du tourbillon éthéré ainsi produit représente la ligne de force électrostatique, et il se produit une attraction mutuelle des électrons.

Si deux électrons convexes ou deux électrons concaves (fig. 3) sont en regard, il se développe une répulsion. L'électron constituerait le médium entre la substance matière et la substance éther.

Nous tâcherons, plus loin, de justifier ces hypothèses dans un

chapitre spécial. Si nous les admettons, nous pouvons définir l'électricité en disant que *c'est une forme de l'énergie d'orientation des éléments matériels gyrostatiques.*

§ 2. — *L'électrisation par friction.*

Si l'on vient à frotter l'une contre l'autre certaines substances n'ayant pas la même constitution physique ou chimique, désignées sous le nom de substances non conductrices, ou encore sous le nom de diélectriques (soufre, verre, gutta-percha, suie, peau de chat, etc.), on remarque qu'après cette friction, ces corps deviennent susceptibles d'attirer des corps légers. On dit alors que ces corps sont électrisés.

Comme nous le verrons, il existe bien d'autres manières de produire ce phénomène. Qu'il nous suffise pour le moment d'indiquer celle-ci, qui se conçoit aisément par cela que ces frictions ayant pour effet, d'abord de déformer les électrons et ensuite de les orienter, dans le sens positif ou négatif, suivant la nature des substances mises en jeu, il pourra en résulter une disposition telle que celle que nous indiquons figure 4. Cette disposition se produira d'autant plus aisément qu'une fois réalisée, il se développe une attraction mutuelle entre les électrons de signes contraires.

Il est intéressant de se demander si le frottement a pour résultat de déterminer à la fois la déformation des électrons et l'orientation des ions, ou si ce dernier effet intervient seul, la tension électronique étant préexistante.

Nous verrons plus tard qu'il existe une certaine orientation électronique préexistante pour presque tous les corps, mais que cette tension est relativement très faible, si on la compare à celle qui est développée par le frottement. Nous pouvons donc admettre ici pratiquement qu'elle n'existe pas. Cela étant, si nous considérons, par exemple, deux ions $\alpha\alpha'$, $\alpha_1\alpha_1'$ (fig. 5) placés à la surface de séparation des deux surfaces frottantes; si la surface supérieure est la moins déformable et se déplace dans le sens de

la flèche, le frottement aura pour résultat de produire la déformation *b*. La tension négative de $\alpha_1\alpha'_1$ l'emportera sur la tension négative de $\alpha\,\alpha'$, et, dès lors, le mouvement tourbillonnant résultant de l'ensemble (transmis par l'éther intermédiaire) correspondra à la phase *c* lorsque l'équilibre se sera établi. Cette interprétation est vérifiée par l'expérience, car *c'est, en général, le corps dont les particules sont le plus facilement changées de place qui s'électrise négativement. Si les substances sont de même nature, c'est le corps le plus chaud qui prendra ce signe.*

Cette propriété de certains corps de s'électriser par frottement était connue dès l'antiquité; c'est ainsi que Thalès, six cents ans avant notre ère, en fait déjà mention.

Les deux électricités développées par le frottement et de signes contraires sont en quantités égales. Il suffit, en effet, de mettre simultanément en contact avec le plateau d'un électroscope la surface frottée et la surface frottante pour constater que la somme de ces deux électricités est algébriquement nulle et ne produit aucune déviation.

Afin de charger d'électricité un corps conducteur, il faut donc d'abord le séparer du sol conducteur par un non-conducteur et le mettre ensuite en rapport avec une source d'électricité produite par les moyens dont nous nous occuperons.

§ 3. — *Électrisation par contact.*

Dans ce que nous venons de dire, nous avons supposé que les électrons étaient initialement neutres; en réalité, il n'en est pas toujours absolument ainsi. C'est même l'existence de cette tension préexistante, variable avec la nature de la substance simple que l'on considère, qui est l'origine des réactions chimiques, de la formation des systèmes moléculaires. Disons cependant que cette tension électrique est toujours très faible relativement aux tensions qu'on est habitué de considérer en électrostatique.

Les substances simples ont été divisées en deux grandes classes : les substances électro-positives, les métaux, en général,

dont l'ion sera représenté par la figure <—> ; les substances électro-négatives, les métalloïdes, en général, dont l'ion sera représenté par la figure >—<. Afin de faire apparaître le phénomène électrostatique, il suffira donc d'orienter ces ions normalement à la surface. C'est la condition que l'on peut réaliser en établissant le contact avec une substance de nature différente.

Considérons une substance électro-positive dont les électrons superficiels sont représentés par les tourbillons positifs *a* (fig. 6), par exemple une surface de sodium, et supposons que l'on vienne à approcher une surface dont les électrons sont neutres (vraisemblablement le carbone) ; dans ces conditions, le mouvement de giration se communiquant de *a* à *b* déterminera la forme *b'*, c'est-à-dire une charge négative équivalente. Si l'électron *b* était déjà positif, mais moins positif que *a* (fig. 7), ce sera ce dernier qui l'emportera, et l'on obtiendra toujours le même résultat, mais une tension plus faible.

Le métal le plus électro-positif sera donc celui qui prendra l'électricité positive. Les métaux se rangent dans l'ordre suivant : Na, Mg, Zn, Pb, Sn, Fe, Cu, Ag, Au, Pt, Graphite. Chacun d'eux devient positif lorsqu'il est mis en contact avec le suivant. C'est là une constatation importante, car nous verrons qu'il en est autrement dans l'électrisation par frottement de surfaces métalliques qui détermine le phénomène du courant.

Il est inutile de dire que si la surface vient à condenser un gaz, les propriétés superficielles pourront être modifiées.

Si l'on vient à séparer les deux surfaces, l'orientation des électrons, normalement à celle-ci, peut se maintenir, et ces surfaces prendront dès lors respectivement les caractères de l'électricité positive et de l'électricité négative.

§ 4. — *Champ électrostatique.*

Nous avons vu, lorsque nous nous sommes occupé de l'hypothèse fondamentale, que le mouvement tourbillonnaire électronique d'éther condensé était susceptible de se propager dans

l'éther du vide. L'axe de ces tourbillons *ab*, *a'b'* (fig. 8) est désigné sous le nom de ligne de force.

L'espace environnant le corps électrisé et occupé par les lignes de force a été désigné sous le nom de champ *électrostatique*.

Si l'espace environnant est vide, les lignes de force se propagent indéfiniment, et nous dirons alors que *le champ est non raccordé*.

Si, au contraire, nous considérons des charges négatives placées en face de charges positives, les tourbillons électroniques se raccorderont par l'intermédiaire de l'éther du vide et se comporteront comme des cordons élastiques tendus (fig. 9). Nous aurons réalisé alors le *champ électrostatique raccordé*.

Si les charges électrostatiques étaient de même signe, le raccordement ne se ferait pas et le champ serait *non raccordé*.

Nous verrons plus loin que les champs raccordés et non raccordés jouissent de propriétés très différentes.

Si l'on considère deux sphères voisines (fig. 10), électrisées, de signes contraires, les lignes de force se disposent à peu près comme nous l'indiquons et l'on remarque que les charges sont plus denses sur les faces *a*, *b*, qui sont opposées l'une à l'autre.

Les lignes électriques tendent également à rester séparées les unes des autres, ainsi que le dessin l'indique et ainsi que cela résulte de l'hypothèse tourbillonnaire, comme nous le verrons plus loin.

Afin de reconnaître la direction de ces lignes de force, il suffit de disposer horizontalement une légère aiguille en papier sur un pivot vertical et de placer celle-ci dans le voisinage du corps électrisé; son orientation indiquera le sens de la ligne de force.

§ 5. — *L'influence électrostatique* (1).

Le phénomène de l'influence a été découvert par John Canton, en 1753. Considérons un corps électrisé, par exemple le conducteur d'une machine électrostatique (fig. 11). A une cer-

(1) Les mots *influence* et *induction* ont été souvent confondus. Dans cet ouvrage, ils ont des significations tout à fait différentes.

taine distance, plaçons un conducteur allongé B *en ayant soin de placer dans le voisinage immédiat de* A *une lame non conductrice,* par exemple une lame de verre ou une lame d'ébonite L, laquelle transmet le phénomène de l'influence et qui, pour cette raison, a été désignée sous le nom de *diélectrique.* On remarque que si A prend une charge positive, par exemple, l'extrémité *a* se charge négativement, l'extrémité *b* positivement, l'espace intermédiaire c, désigné sous le nom d'espace neutre, n'indique aucune charge. Si, enfin, on enlève la charge A, B revient à l'état neutre.

Nous voyons que le mouvement tourbillonnaire des ions de A est capable de se transmettre par l'intermédiaire de l'éther ambiant et d'orienter les électrons de B, de manière à amener la disposition que nous indiquons figure 12.

Si l'on vient à mettre *b* en communication avec un conducteur présentant de grandes dimensions, par exemple avec la terre, dont la surface peut être considérée comme infinie, les ions orientés *b* se répandront sur cette surface et *b* reviendra à l'état neutre. Au contraire, les ions *a* continueront à être sollicités par A et l'électricité répandue en *a* a été désignée sous le nom d'*électricité dissimulée,* par cela que si *a* est très rapproché de A, on ne peut plus reconnaître son existence. Mais si l'on vient à décharger A, l'électricité négative *a* se répand sur tout le conducteur B et devient apparente.

Si l'on substitue au conducteur fixe B une balle de sureau suspendue à un fil de cocon, l'attraction développée par l'influence ne tarde pas à attirer la balle de sureau vers le conducteur A, par cela que les électricités de noms contraires s'attirent. Que A soit positif ou négatif, les choses se passeront toujours de la même manière, il y aura toujours attraction. Telle est l'expérience que l'on désigne sous le nom d'expérience du pendule électrique.

Si, enfin, nous disposons la balle de sureau *b* entre deux conducteurs électrisés de noms contraires (fig. 13) et ayant la même tension électrique, elle sera en équilibre si la distance des deux conducteurs est la même.

Nous allons voir que les choses se passent tout autrement dans le phénomène de l'*induction*.

§ 6. — *L'induction électrostatique.*

L'induction électrostatique est un phénomène tout différent que nous avons mis en lumière en nous basant à la fois sur la théorie et sur l'expérience. Nous avons vu, lorsque nous avons formulé nos hypothèses fondamentales, que l'orientation positive déterminait dans l'espace ambiant un accroissement de pression de l'éther, que l'orientation négative déterminait une dépression de ce milieu et que réciproquement tout accroissement de pression de l'éther avait pour effet de déterminer l'orientation positive, toute dépression, l'orientation négative. Cela étant, si l'on vient à approcher un ion A orienté positivement, par exemple d'un corps B à l'état neutre (fig. 14), ce dernier s'électrisera aussi positivement et conservera cette charge lorsque A aura cessé d'agir.

Lorsque l'on électrise par frottement dans les machines de cette espèce ou en déplaçant des charges électriques les unes par rapport aux autres, les actions réciproques des électrons amènent des vibrations de ceux-ci à peu près par le même mécanisme que les vibrations d'une corde par l'action de l'archet.

Ces vibrations ont ensuite pour résultat de déterminer des actions répulsives réciproques en vertu de l'effet découvert par Bjerckness, si elles sont concordantes. Il résulte de cette circonstance que pendant la marche des machines à frottement ou à plateaux tournants, des ions s'échappent du conducteur suivant la direction de la flèche, par exemple (fig. 15), et déterminent, si l'orientation est positive, un accroissement de pression considérable de l'éther dans l'espace E, tel que celui que l'on observerait en avant d'un projectile ; à l'arrière se produit une dépression qui tend à rendre le conducteur C négatif, c'est-à-dire à le décharger. Si, au contraire, l'orientation est négative, l'espace E subira une dépression équivalente par suite de l'espèce de suc-

cion due au tourbillon négatif et, à l'arrière, il se développera une pression. C'est afin d'éviter ce mouvement ionique en E que nous avons placé en L une lame diélectrique solide (fig. 11). Ajoutons encore que si la tension devient suffisante, les projections ioniques atteignent une intensité telle qu'elles deviennent luminescentes. Elles sont alors désignées sous le nom d'aigrettes, et les ions, en entraînant l'air, déterminent le phénomène que l'on désigne sous le nom de vent électrique. Le courant d'air ainsi produit se développe dans le même sens, que l'orientation soit positive ou négative, mais les courants sont de sens contraires lorsqu'il s'agit des courants d'éther, ainsi que cela résulte de ce que nous venons de dire.

Si donc on vient à disposer dans l'espace E (fig. 15) un conducteur C′ à l'état neutre, — et il importe de ne pas oublier que cet espace peut être complètement séparé du milieu ambiant par un écran diélectrique L′ placé maintenant à une certaine distance du conducteur C, pour ne pas empêcher le mouvement des ions, — on remarque que ce conducteur prend une charge de même signe que C, ainsi que la théorie le prévoit. Cette charge n'est, comme on le voit, nullement communiquée par des particules d'air électrisées émises par le conducteur C et entrant ensuite en contact avec le conducteur C′, ainsi que cela est implicitement admis dans l'ancienne théorie, car la lame L′ ne peut leur livrer passage.

On peut vérifier le fait par l'expérience en utilisant simplement la disposition que nous venons d'indiquer et en enfermant pour plus de précaution le conducteur C′ dans une cage diélectrique en verre. Ainsi que nous l'avons dit, des ions s'échappent toujours des conducteurs de la machine en activité, mais il est évident que nous obtiendrons des effets particulièrement énergiques si nous facilitons l'émission des ions en adaptant au conducteur C un plateau muni de pointes. Voici comment nous avons réalisé cette expérience.

Une feuille de carton P, recouverte de feuilles d'étain, était suspendue par des fils de soie (fig. 16). Cette plaque était mise, d'une part, en communication avec un électroscope à feuille

d'or E et portait, d'autre part, sur chacune de ses faces, une feuille d'or *f*. Le tout était disposé sous une cage en verre, afin d'éviter le transport direct de l'électricité à l'électroscope. A une distance de 1 mètre environ se trouvait une plaque métallique munie de neuf pointes et mise en communication avec l'un des pôles d'une machine de Holtz. Lorsque celle-ci etait mise en activité, on remarquait que les feuilles d'or *f* collées sur chacune des faces de P s'écartaient, qu'elles prenaient donc de l'électricité de même signe.

L'électroscope permettait d'estimer la tension de la charge.

Des observations faites à l'aide de cet appareil ont conduit aux conclusions suivantes :

1° Les pôles positifs et négatifs développent des charges de même tension.

2° Si la charge est produite pendant un temps très court, elle disparaît lorsque l'aigrette cesse de se produire.

L'induction due à la production de l'aigrette est donc alors égale à celle développée en sens contraire par sa cessation; mais si la charge se prolonge pendant quelque temps, l'induction développée pendant cette première phase l'emporte sur l'induction de sens contraire au moment de la suppression de l'aigrette qui est instantanée, et l'électroscope reste chargé.

3° L'induction électrostatique est plus intense si le plan de la plaque P coïncide avec la direction des pointes que si la plaque P est disposée perpendiculairement à cette direction.

4° La tension électrique communiquée à la plaque P croît avec la surface de celle-ci.

C'est ainsi qu'une plaque P carrée de 18 centimètres de côté développait une tension correspondant à 9 divisions de l'électroscope lorsqu'elle était placée perpendiculairement aux pointes et à 14 divisions lorsqu'elle était placée parallèlement à celles-ci.

De même une plaque carrée de 6 centimètres de côté a développé à sa surface, dans les mêmes conditions, des charges correspondant à 5 et à 9 divisions.

Ce fait que l'action est plus intense lorsque le plan de la lame est parallèle à la direction des pointes, est dû à ce que, dans

cette disposition, les deux faces subissent la variation de pression de l'éther, alors que, dans le cas de la perpendicularité, une seule la subit.

L'induction nécessite donc un espace de libre parcours des ions entre C et L'; il en résulte que si la lame d'ébonite L' est mise en contact avec le conducteur C, l'*induction* ne se produira plus, mais nous obtiendrons le phénomène de l'*influence*, ainsi que nous l'avons dit dans le paragraphe précédent.

Nous pouvons résumer les lois de l'induction électrostatique de la manière suivante :

A) 1° Lorsqu'un ion orienté positivement α s'approche d'un ion β, il tend à l'orienter positivement (fig. 17);

2° Si l'ion α s'éloigne de l'ion β, il tend à l'orienter négativement;

3° Si l'ion α est orienté négativement et s'il s'approche de l'ion β, il tend à l'orienter négativement;

4° Si l'ion α s'éloigne de l'ion β, il tend à l'orienter positivement.

B) 1° Quand *plus* s'approche de *plus*, il y a répulsion ;

2° Quand *plus* s'éloigne de *plus*, il y a attraction;

3° Quand *plus* s'approche de *moins*, il y a attraction;

4° Quand *plus* s'éloigne de *moins*, il y a répulsion;

5° Quand *moins* s'approche de *moins*, il y a répulsion;

6° Quand *moins* s'éloigne de *moins*, il y a attraction.

La cause de la décharge produite par l'aigrette est, comme nous le verrons plus tard, la même que celle qui préside à la décharge produite par les substances radioactives.

A côté de ces phénomènes d'induction vient se placer une action qui est déterminée par l'entraînement de l'éther du pôle positif vers le pôle négatif et qui dès lors peut même se produire sur un corps qui serait également sollicité dans deux sens opposés soit par les actions d'influence, soit par l'induction.

Si l'on suspend à l'aide d'un fil de cocon une balle de sureau recouverte d'une feuille d'or entre les deux plateaux d'un condensateur et à égale distance de chacun d'eux (les deux pla-

teaux étaient placés à environ 30 centimètres l'un de l'autre), si ensuite ces plateaux sont reliés aux pôles positif et négatif d'une machine de Holtz sans condensateur, *la machine étant préalablement mise en marche avant toute opération*, au moment où l'on retire *brusquement* le déflagrateur de manière à produire l'électrisation instantanée des plateaux, on remarque que *la balle de sureau est fortement projetée vers le plateau négatif.* Elle serait évidemment en équilibre si l'influence intervenait seule. Nous avons d'ailleurs constaté que le même effet continue à s'observer, alors que l'on déplace considérablement la balle de sureau soit vers le plateau positif, soit vers le plateau négatif. Or si, dans ces conditions, on remplace la balle de sureau par une petite sphère conductrice fixe, mise en communication avec un électroscope, on observe que les charges ainsi produites sont de noms contraires dans les deux positions considérées; elles correspondent à l'induction examinée plus haut. Nous avons vu que si le phénomène de l'influence intervenait, les mouvements correspondraient toujours à une attraction dirigée vers le plateau le plus rapproché.

Si l'état de l'atmosphère se prête à l'expérience, on peut même réussir avec un seul plateau; le plateau négatif attire, le plateau positif repousse. Si l'on remplace les plateaux de condensateurs par des plateaux munis de pointes, ces actions peuvent se développer à plus grande distance. Pour éviter l'objection possible d'une action du souffle électrique, on peut suspendre la balle de sureau à l'intérieur d'un verre de lampe, mais il ne faudrait pas utiliser trop longtemps le même verre, car celui-ci, en s'électrisant lui-même, peut amener des perturbations.

L'expérience réussit plus sûrement encore si l'on suspend à l'aide de deux fils de soie un fil métallique très fin d'environ 10 centimètres de longueur et de manière à faire coïncider sa direction avec les lignes de force. On le voit toujours repoussé par un conducteur positif et attiré par un conducteur négatif.

L'espèce de succion développée par l'électricité négative peut se montrer d'une manière plus suggestive encore en appliquant une méthode basée sur un fait observé en 1853 par M. Srtsezek.

Ce physicien avait reconnu que si l'on abandonne de légères feuilles d'or dans le voisinage de conducteurs électrisés, celles-ci demeurent en suspension dans l'atmosphère en s'orientant suivant la direction des lignes de force; elles sont de plus généralement animées de mouvements de giration rapides qui témoignent une fois de plus de la nature tourbillonnaire de l'énergie électrique. Cela étant, nous avons disposé les deux plateaux d'un condensateur à 30 ou 40 centimètres l'un de l'autre; ceux-ci étant mis en communication avec les deux pôles d'une machine de Holtz, nous avons abandonné dans l'espace intermédiaire une feuille d'or présentant la forme d'un losange allongé (0.5 centimètre de largeur sur environ 3 centimètres de longueur). Nous avons alors observé le phénomène qui vient d'être décrit, mais la feuille d'or est invariablement retenue dans le voisinage du plateau négatif par suite du vide éthéré qui s'y manifeste. Nous verrons plus loin que les ions libres se comportent de la même manière, qu'il se produit un transport tout spécial de ceux-ci du pôle positif vers le pôle négatif.

Approfondissons un peu plus le phénomène et considérons une pointe négative *p* (fig. 18) émettant des ions suivant la direction de la flèche *f* barbelée. Cette action déterminera une réaction qui tendra à déplacer la pointe en sens contraire, de manière à permettre la réalisation d'un tourniquet électrique. Mais à cette action résultant de l'émission de masses ioniques s'en ajoute une autre, celle de la succion d'éther tourbillonnant développée par les ions en mouvement. Cette succion se produit suivant la direction de la flèche *f'*. Il en résulte que la pointe *p* ne sera pas seulement repoussée par l'effet de l'inertie des masses ioniques, mais encore par le courant d'éther développé suivant la direction *f'*.

Si, au contraire, nous considérons une pointe positive, le courant d'éther développé par les ions en mouvement et détachés du conducteur sera dirigé en sens contraire et ne butera plus contre la pointe de manière à la faire rétrograder.

Il résulte de cette circonstance qu'une pointe négative, toutes choses étant égales, sera plus fortement repoussée qu'une pointe

positive. Dès lors, si nous considérons la feuille d'or en suspension entre les deux plateaux d'un condensateur, la pointe *p* sera plus fortement repoussée que la pointe *p'* et elle se maintiendra toujours dans le voisinage du pôle négatif.

La cause du transport des ions de préférence du pôle positif vers le pôle négatif nous apparaît clairement.

§ 7. — *Le courant.*

Il résulte de l'ensemble de ces faits cette conclusion importante que l'*influence* et l'*induction électrostatiques* constituent des effets capables de transmettre l'énergie électrique d'un point à un autre de l'espace. Pour ce qui concerne le phénomène de l'*influence* dans l'exemple que nous avons considéré, une charge positive s'est transmise de A à *b* (fig. 11). Adoptant le langage de Maxwell, nous dirons qu'il y a eu *courant instantané*, la charge *b* est devenue disponible, mais une fois utilisée, les choses en restent là.

Dans le phénomène de l'*induction électrostatique*, il y a, au contraire, transmission continue de charges d'un point à un autre de l'espace. Nous dirons alors qu'il y a *courant continu*.

Le transport de l'énergie par le courant est dès lors comparable à celui qui serait effectué par un arbre de transmission animé, d'une part, d'un mouvement de rotation rapide autour de son axe et, d'autre part, d'un mouvement de déplacement dans le sens longitudinal. Ce dernier mouvement s'arrête après un instant dans le phénomène de l'influence ; il est continu dans le phénomène de l'induction électrostatique.

§ 8. — *Machines électriques.*

L'*électrophore* est la seule machine employée dans la pratique dans laquelle n'intervient que le phénomène de l'influence. Il se compose d'un plateau de résine que l'on électrise par frottement à l'aide d'une peau de chat. Si l'on superpose à celui-ci un

plateau conducteur muni d'un manche isolant, ce plateau s'électrise par influence. On élimine l'une des charges en touchant le plateau conducteur du doigt. Si l'on enlève ensuite ce dernier, il reste chargé de l'électricité qui était dissimulée.

Limite de charge. — Un conducteur ne peut recevoir qu'une charge limitée. Si l'on dépasse cette limite, l'électricité ou les ions que nous avons considérés se précipitent dans le milieu ambiant pour donner naissance à l'aigrette et à l'induction électrostatique dont nous avons parlé. Ce phénomène se manifeste pour des charges très faibles lorsque le conducteur est muni d'une pointe. C'est cette dernière qui est le siège de cet écoulement particulier qui correspond à la figure 15.

Machine de Ramsden. — L'appareil se compose d'un plateau de verre, serré à sa périphérie entre quatre coussins, mis en communication avec le sol. Le plateau est animé d'un mouvement de rotation à l'aide de la manivelle et s'électrise positivement.

Un conducteur muni de pointes est placé dans le voisinage du plateau et s'électrise par influence. La charge négative atteint, grâce aux pointes, immédiatement la limite de charge et donne naissance à une aigrette négative, laquelle tend constamment à neutraliser la charge du plateau de verre par induction électrostatique. La charge positive reste sur le conducteur. Mais il importe de remarquer que pendant tout le temps de la marche, l'induction électrostatique maintient l'énergie positive du conducteur dans l'état dynamique particulier donnant lieu à l'effet Bjerckness et aux projections ioniques dont nous avons parlé plus haut, de telle manière que, si l'on vient à approcher un conducteur isolé, celui-ci s'électrise, en général, par induction et non par influence, ainsi que nous l'avons vu.

Nous verrons également que ces oscillations électroniques qui donnent lieu à l'effet Bjerckness, peuvent déterminer à distance une *électrisation oscillante* qui n'est pas produite par l'influence ou par l'*induction électrostatique*.

Machines à disques tournants. — La machine de Ramsden représente un appareil dans lequel intervient à la fois le phéno-

mène de l'influence et de l'induction. Dans la machine de Wimshurst, l'induction intervient seule.

Le déplacement des ions est déterminé ici par la rotation d'un disque en verre à la périphérie duquel sont collées un certain nombre de feuilles conductrices δ (fig. 19).

Supposons d'abord, afin de rendre l'explication claire, que le conducteur *c* possède une charge positive, le point *b* étant à la terre par le contact du petit balai. Les éléments du secteur *bc* en s'approchant de *c* prendront une charge positive, et réciproquement renforceront la polarité positive de *c*. En parcourant l'espace *cd*, les éléments du disque en s'écartant tendront à produire le phénomène inverse ; mais *bc* étant plus grand que *cd*, c'est le premier effet qui l'emportera.

Remarquons maintenant que les points δ s'écartant du secteur *dc* électrisé positivement, s'électriseront négativement, et le conducteur *e* s'électrisera négativement par l'approche des éléments négatifs du secteur *de*. En *eb*, les choses se passeront comme en *dc*.

Pour ce qui concerne le disque placé derrière le premier, dont la rotation s'exécute en un sens contraire, ce sera la moitié du disque *d'cb'* (fig. 20) qui sera positive, et le raisonnement à faire est le même que pour le disque d'avant.

Il résulte de cette théorie qu'une machine formée d'un seul plateau doit fonctionner. Nous avons constaté qu'il en était ainsi, mais les charges réalisées sont faibles. On peut reconnaître leur présence et leur polarité à l'aide d'un plan d'épreuve et d'un électroscope. Afin de réaliser l'expérience, il suffit de rendre les plateaux solidaires, de manière à les faire tourner ensemble, et de disposer parallèlement les tiges *bd* et *b'd'*.

Nous avons également remarqué que si l'on vient à déterminer une rotation du disque en sens contraire après avoir communiqué une charge au conducteur A, la réciproque a lieu : la machine se décharge.

Le renforcement considérable réalisé à l'aide des deux plateaux est dû à la circonstance suivante : Indiquons en pointillé (fig. 21) ce qui se rapporte au plateau d'arrière et considérons

la partie droite de la machine, par exemple. Le secteur *b'od* est positif pour les deux plateaux; dès lors un élément α du plateau antérieur deviendra non seulement positif par cela qu'il s'approche du conducteur positif *c*, mais surtout parce qu'il s'approche du centre de figure de la surface électrisée positivement *b'od*; cette action commence du reste à se faire sentir en α_1, et il en sera de même du disque d'arrière pour un point α' et α_1'. Le même raisonnement est applicable à la partie gauche négative. Il résulte de cette considération que le rendement de la machine sera d'autant meilleur que les plateaux seront plus rapprochés.

Remarquons encore que dans cette conception, les ions sont supposés normaux à la surface des disques.

L'amorçage de la machine, au lieu de s'exécuter comme nous venons de le dire, est généralement spontané, il résulte du frottement des petits balais placés à l'extrémité des tiges inclinées *bd*, *b'd'*. Mais il est inutile de dire que la polarité se développera au hasard dans un sens ou dans l'autre, suivant que l'un ou l'autre frottement prédomine à l'origine. Si l'on veut obtenir une polarité déterminée, il faut, comme nous l'avons dit, charger légèrement l'une des bouteilles de Leyde A ou B au moment de la mise en marche.

Machine de Holtz. — Le principe de la machine de Holtz est identique au précédent; l'amorçage est intéressant. Un élément α (fig. 22) du plateau mobile, en s'approchant de la pointe du conducteur δ positif, monté sur le plateau fixe, s'électrise énergiquement, positivement. Il en sera ainsi tant que ces éléments α seront soumis à l'action de la pointe δ, mais dès que ces éléments auront dépassé cette position δ, cette action deviendra négligeable et ils conserveront dès lors leur charge positive. Si le conducteur était muni de deux pointes dirigées en sens contraires (fig. 23), au moment où l'élément α aurait dépassé δ', son mouvement d'éloignement déterminerait une induction de sens contraire, qui réduirait la première à néant.

La machine une fois amorcée, on voit que le plateau, après avoir abandonné sa charge positive au conducteur *b* par l'inter-

médiaire d'un peigne, deviendra négatif par cela que les points de ce plateau s'écartent d'une charge positive *b*; pendant le parcours *cd*, ils deviendront encore négatifs par cela qu'ils s'écartent d'une charge positive et qu'ils se rapprochent d'une charge négative *d'* et *d*. L'inverse aura lieu pour la demi-circonférence inférieure.

Électrisation par frictions longitudinales. — Volpicelli, en déterminant des frictions dans un sens unique sur un cylindre en cuivre recouvert de résine, à l'aide d'un anneau en cuivre A, est parvenu à établir deux polarités différentes aux extrémités *a* et *b* (fig. 24). Le mécanisme de cette expérience inexplicable dans l'ancienne théorie ne demande pas de commentaires.

Le cylindre conserve cette orientation. Lorsqu'elle est réalisée, si l'on déplace l'anneau dans le sens indiqué par la figure, il s'approche continuellement des électrons orientés positivement et s'écarte continuellement des électrons orientés négativement; il s'électrisera donc par induction positivement, ce que l'expérience vérifie en mettant l'anneau en communication avec un électroscope.

§ 9. — *Les diélectriques ou les substances aniodynamiques.*

On peut admettre qu'un diélectrique *parfait* se comporte comme s'il était formé de molécules complètement isolées les unes des autres. Il en résulte que si l'on vient à électriser par contact les molécules superficielles, ces molécules, étant indépendantes des molécules voisines, conserveront cette charge indéfiniment.

En réalité, les choses ne se passent jamais absolument ainsi : elles se passent comme si ces molécules étaient assimilables à de petits conducteurs isolés, mais entrant périodiquement en contact. Il en résulte que si l'on électrise la surface d'un diélectrique, cette électricité se transmet au sein de la masse et peut s'y conserver pendant un temps très long. Si l'on vient à électriser à sa surface un morceau de paraffine, par exemple, on

remarque qu'après plusieurs mois un fragment de cette matière présente encore les caractères de l'électrisation initiale.

Un isolant ou un diélectrique *parfait* serait donc composé de molécules formées d'ions, lesquels ions continueraient indéfiniment à faire partie de la même molécule; c'est la raison pour laquelle nous avons désigné ces substances sous le nom de *substances aniodynamiques*. Dans les diélectriques imparfaits représentés particulièrement par les substances solides, la transmission lente de l'électricité au sein de la masse se produit donc comme s'il s'établissait des contacts périodiques entre de petits conducteurs isolés.

Supposons, par exemple, qu'une molécule *a* (fig. 25) possède quatre ions orientés positivement, par exemple; après le contact avec une autre molécule identique, elles en posséderont chacune deux. Ces substances permettent la transmission de l'influence, raison pour laquelle on les a aussi désignées sous le nom de *diélectriques*. Les choses se passent comme si une série de conducteurs se trouvaient placés à la suite les uns des autres, chaque conducteur représentant une molécule.

§ 10. — *Les conducteurs ou les substances iodynamiques.*

Nous avons vu qu'il existait un mode particulier de transmission de l'énergie électrique auquel nous avons donné le nom d'*induction électrostatique*, lequel mode implique l'existence d'ions orientés en mouvement. Nous avons vu par quel mécanisme il se fait que deux conducteurs placés en face l'un de l'autre et électrisés de signes contraires, se neutralisent réciproquement si l'espace qui les sépare est parcouru par des ions libres, lesquels, dans les cas que nous considérions, étaient engendrés par le gaz ambiant (fig. 15).

Le même résultat est obtenu si l'on interpose entre les deux surfaces électrisées certaines substances solides ou liquides dites conductrices. Nous conclurons donc par analogie que ces corps possèdent dans leur masse des ions libres en mouvement, que

chaque molécule de ces corps est formée d'ions qui n'en font partie que pendant un instant; une permutation perpétuelle des ions qui constituent les molécules de ces corps fait de ceux-ci un système dynamique tout spécial. Nous les avons désignés pour cette raison sous le nom de substances *iodynamiques*.

Lorsque la transmission de l'énergie se fait par saccades, ce sont les ions de la surface, plus libres, qui semblent tout désignés pour cette propagation. L'électricité se transmet alors à la surface. Mais si la transmission de l'énergie est continue, celle-ci se propage également en pleine matière. Le temps est donné alors à ces ions pour qu'ils puissent s'orienter également. Nous nous occuperons de ce mode de transmission dans le chapitre suivant.

Voyons maintenant comment l'énergie se propage à la surface.

Il suffit d'appliquer pour cela à la surface conductrice ce que nous avons dit de la substance gazeuse ionisée, lorsque nous nous sommes occupé de l'induction électrostatique.

Les ions superficiels du conducteur C (fig. 26), α et β, en se précipitant les uns vers les autres, se neutralisent par induction électrostatique. Tel est, du reste, également le phénomène qui se produit si l'on met en contact deux conducteurs électrisés de signes contraires.

Si la tension est suffisante, les ions traversent l'air ambiant en l'ionisant lui-même, et la neutralisation par induction électrostatique se produit dans l'air sous forme d'étincelle ou sous forme d'aigrette.

Considérons un conducteur électrisé A (fig. 27), et supposons que cette électrisation corresponde à deux ions orientés positivement α, α', par exemple. Si nous le plaçons dans le voisinage d'un conducteur β, l'énergie libre d'orientation ne sera pas modifiée, mais elle sera transportée en α_1, α_1' par influence. Les ions intermédiaires seront simplement orientés, ainsi que la figure l'indique, et les électricités e, e', de signes contraires et devenues non apparentes, ont été désignées sous le nom d'*électricités dissimulées*. Si l'on met les conducteurs en contact, elles se reconstituent d'après le mécanisme indiqué plus haut et

l'énergie d'orientation libre correspondant aux deux ions α, α' ou α_1, α_1' se répartira sur les deux conducteurs. S'ils ont même capacité, chacun d'eux possédera une charge correspondant à un ion orienté.

Faisons dès à présent cette remarque importante, que les ions peuvent se déplacer et s'orienter soit normalement à la surface d'un conducteur, soit tangentiellement à celui-ci.

§ 11. — *Le phénomène de l'influence dans les diélectriques.*

Considérons deux lames conductrices A et B (fig. 28), entre lesquelles nous disposerons un diélectrique constitué ainsi que nous l'avons dit. Chaque élément *m*, isolé, se comportera lui-même comme un petit conducteur, ainsi que la figure l'indique. Nous aurions réalisé ainsi l'appareil désigné sous le nom de *condensateur*. En mettant la surface C en communication avec le sol, nous détruirons l'orientation des ions α, qui constituent une charge apparente, mais nous conserverons au sein de la masse les ions orientés à la surface des conducteurs et à la surface des éléments du diélectrique. C'est l'*électricité dissimulée*. La quantité de cette énergie dépendra de la surface des conducteurs, du nombre et de la forme des molécules du diélectrique. Elle sera, *en général*, d'autant plus grande que la densité du diélectrique est elle-même plus grande. On désigne sous le nom de capacité diélectrique la faculté plus ou moins grande de ces corps de recéler de l'énergie électrique. La découverte de la variabilité de cette propriété, lorsqu'on passe d'un diélectrique à un autre, est due à Faraday.

Supposons maintenant que l'on vienne à mettre en communication A et B à l'aide d'une substance iodynamique (fig. 29), par exemple à l'aide d'un conducteur métallique C.

Dans ces conditions, il n'y aura plus seulement orientation des ions superficiels tangentiellement à ce conducteur, mais les mouvements des ions α, β ne tarderont pas à déterminer leur neutralisation réciproque par induction électrostatique. Dès lors, les charges A et B se neutraliseront.

Si le contact entre A et B est établi un instant et si le diélectrique est une substance solide, la désorientation des éléments ne se produit pas instantanément; aussi peut-on déterminer une deuxième décharge beaucoup plus faible après quelques instants. Cette quantité d'électricité a été désignée sous le nom d'*électricité résiduelle.*

§ 12. — *Justification des hypothèses fondamentales.*

Les belles expériences de M. Weyher jettent déjà une vive lumière sur le mécanisme des phénomènes électriques. Ce physicien, en faisant tourner rapidement un tourniquet symétrique A (fig. 30) et en abandonnant dans l'air des corps légers, a remarqué que les spires du tourbillon aérien affectaient la forme figure 30bis.

Remarquons qu'en utilisant un tourniquet symétrique, nous ne nous trouvons pas dans les conditions que nous avons supposées et qui impliquent l'existence de tourniquets dissymétriques. Cependant, nous pouvons déjà tirer de cet examen une remarque importante.

Nous voyons que le tourbillon fermé se compose de deux parties : d'abord d'un tourbillon large et évasé dont l'axe est occupé par un tourbillon de diamètre beaucoup plus petit, dont le déplacement se produit en sens contraire du premier. Dans cette image, le tourbillon extérieur représente le tourbillon négatif et le tourbillon intérieur le tourbillon positif. Nous voyons donc que le tourniquet symétrique réalise à la fois ce que l'on appelle électricité positive et ce que l'on appelle électricité négative.

Mais si nous considérons deux tourniquets dissymétriques T, T', A, B (fig. 31) placés l'un à la suite de l'autre, que va-t-il se passer? Le changement de marche que l'on observait dans la région équatoriale E ne se produira plus. Le tourbillon de grand diamètre continuera sa marche dans le même sens, car la rotation des palettes du sommet du cône *c*, ne pouvant exercer d'ac-

tion sensible, n'entravera plus son mouvement. De même, le tourbillon de petit diamètre circulera librement en sens inverse du premier d'un cône à l'autre.

En un mot, nos tourniquets T et T', qui donnent la représentation de nos électrons, seront reliés par un double système de tourbillons éthérés, l'un positif, l'autre négatif. L'axe de ces tourbillons représente la ligne de force de deux conducteurs électrisés de signes contraires et s'attirant mutuellement.

Considérons maintenant un tourniquet unique orienté, par exemple, positivement (fig. 32). Dans ces conditions encore, les palettes dans le voisinage du sommet du cône en *a* n'exerceront pas d'action sensible et, dès lors, la tendance à l'appel suivant l'axe et vers A sera faible (la partie droite de la figure de M. Weyher est supprimée). La spire d'appel extérieure (partie gauche) subsiste seule; en pénétrant dans l'axe, elle détermine l'émission tourbillonnante positive *t*.

Inversement, si nous considérons le tourniquet orienté négativement (fig. 33) en B, nous verrons les spires extérieures se développer. Mais ici se rencontre une petite difficulté; en effet, on peut admettre, d'après les expériences de Weyher et aussi d'après la représentation précédente, que les spires seront ramenées vers le centre de manière à produire le courant d'appel en sens contraire. Mais nous pouvons remarquer, d'une part, que ces spires ne rencontrent plus la surface du conducteur A, que, dès lors, elles sont libres de se propager; que, d'autre part, le déplacement du tourbillon *t* serait enrayé par la surface matérielle B.

Les expériences que M. Weyher a entreprises dans les liquides ne sont pas moins démonstratives. Nous voyons se produire sous l'action d'un tourniquet placé dans la masse liquide, d'abord un tourbillon de petit diamètre qui se matérialise par la production d'un enfoncement conique à la surface du liquide; ce tourbillon est descendant. Autour de celui-ci s'en développe un autre beaucoup plus large et ascendant. Dans cette image, le tourbillon conique de petit diamètre descendant de la surface, correspond à l'émission tourbillonnante positive; le tourbillon ascendant de

grand diamètre émanant du tourniquet représente l'émission négative.

Nous pourrions évidemment introduire une pointe animée d'un mouvement de rotation rapide dans l'entonnoir apparent sans rien changer aux conditions d'équilibre dynamique. Cette pointe représenterait alors l'électron orienté positivement; le tourniquet, l'électron orienté négativement.

Remarquons maintenant que le raccordement des tourniquets ou des électrons T, T′ ne peut (fig. 31) se faire que pour autant que le sens des rotations soit le même. Si donc nous admettons que le sens de la rotation des électrons superficiels est quelconque, le raccordement se fera entre les électrons dont le sens de la rotation est le même.

Nous voyons donc qu'un champ raccordé (fig. 31) suivant ce mécanisme se compose d'une infinité de tourbillons dont le sens de la rotation est quelconque. Or, il résulte des expériences de Weyher que les tourbillons ayant des rotations inverses s'attirent et que le contraire a lieu si le sens de la rotation est le même. Un semblable système sera donc soumis à une série d'attractions et de répulsions qui détermineront des déplacements latéraux tels que ces tourbillons entreront périodiquement en contact; mais par suite de leur élasticité, ils rebondissent latéralement les uns sur les autres, de manière à présenter l'image d'un système comparable à celui du gaz parfait tel qu'il est conçu par W. Thomson et par Helmholtz. Ce système doué de force expansive se comportera comme si les lignes de force se repoussaient mutuellement, ce qui est conforme à la réalité. Si le nombre des lignes de force atteint une certaine limite, cette action répulsive sera telle que l'équilibre sera rompu, et nous aurons atteint alors la limite de charge. Les ions qui y sont indissolublement liés sont projetés dans le milieu ambiant.

Cela étant, si l'on considère deux conducteurs A et B (fig. 34) électrisés de même nom, émettant des tourbillons de même ordre, incapables de s'emboîter, il se développera des actions répulsives comparables à celles qui se réaliseraient si l'on interposait entre les deux conducteurs un gaz parfait sous pression.

On conçoit également que si l'un des électrons T ou T' n'était pas orienté, il ne tarderait pas à se déformer de manière à réaliser la forme correspondant à l'équilibre (fig. 31), ce qui nous donne la représentation du phénomène de l'*influence*.

Considérons enfin des ions en mouvement émis par l'un des conducteurs et dirigés vers l'autre avec une orientation positive ou négative (fig. 35). Si l'orientation est négative, il se développera un vide, qui déterminera également l'orientation négative sur le deuxième conducteur, et inversement s'il s'agit de l'orientation positive. Nous avons ainsi l'image de l'*induction électrostatique*.

En résumé, chaque ion *libre* qui constitue le *courant* détermine une aspiration et un refoulement de l'éther tourbillonnant. A l'inverse de ce qui se passe lorsque les ions sont orientés sur une surface, le tourbillon central allant du pôle positif vers le pôle négatif existe seul. C'est ainsi que se trouve vérifiée l'idée fondamentale d'Edlund, qui admet que le courant électrique implique l'existence d'un courant d'éther. C'est également l'absence du large tourbillon de retour qui établit la distinction fondamentale entre la ligne de force électrostatique et le courant.

Si nous considérons une série de tourbillons élémentaires, ceux qui possèdent des mouvements de rotation de même sens pourront se grouper de manière à constituer un mouvement tourbillonnant d'ensemble à la surface des corps. *Telle est bien la caractéristique des phénomènes électrostatiques.* L'image des tourbillons donnée soit par les figures de Lichtenberg, soit par l'étincelle, nous fournit en effet la représentation de tourbillons ayant des dimensions tangibles. Ce mouvement d'ensemble implique l'existence d'une vitesse tangentielle, parallèle à la surface électrisée, qui aura pour résultat d'empêcher la propagation de l'orientation des ions normalement à cette surface, c'est-à-dire en pleine matière. Cette manifestation de l'énergie se localisera donc à la surface des conducteurs.

Nous voyons également que la seule différence qui existe entre le raccordement tourbillonnaire électrostatique (fig. 31) et l'étincelle se trouve dans cette circonstance que dans le premier cas le mouvement tourbillonnaire se produit dans l'éther seul ;

dans le deuxième cas, ce mouvement tourbillonnant est suffisamment intense pour entraîner avec lui les ions matériels. Ceux-ci, par leur inertie, ne tardent pas à amortir l'énergie d'orientation électrique qui se neutralise avec dégagement de chaleur.

En général, le tourbillon positif seul s'illumine par l'entraînement des ions, mais nous avons eu la bonne fortune d'observer l'étincelle double ainsi que l'aigrette double, de manière à fournir la représentation exacte du mécanisme que nous venons de décrire. C'est l'observation de cet admirable phénomène qui nous a déterminé à défendre l'hypothèse que nous exposons. On peut dire qu'il appartient à cet ordre de choses que l'on s'habitue trop à *regarder* sans les *voir*. L'aigrette négative présentait l'apparence d'un beau tube tourbillonnant d'environ 2 millimètres de diamètre, sur lequel on distinguait les spires sombres et lumineuses du tourbillon; l'aigrette positive affectait la forme déliée bien connue. Lorsque ces deux manifestations furent suffisamment rapprochées, le filament positif s'engagea dans le tube négatif, de manière à en occuper l'axe, lequel continua à être illuminé par un trait de feu lorsque l'étincelle fut établie. Ce résultat a été obtenu à l'aide d'une bobine à fil secondaire, gros et court.

Il est impossible de réaliser d'une manière plus saisissante l'image que l'expérience de Weyher reproduit.

Si l'on considère le tube tourbillon correspondant à l'étincelle, on peut se demander si celui-ci n'est pas susceptible de se sectionner. Dans ces conditions, les ions animés de mouvements giratoires et définitivement séparés des conducteurs constitueront par leur ensemble de petites sphères indépendantes les unes des autres. Telle est l'expérience réalisée par Planté à l'aide d'une puissante batterie d'accumulateurs, et qui se traduit dans la nature par la production de la foudre globulaire.

L'équilibre de ces masses ioniques tourbillonnantes peut être rompu par un simple choc, dont le résultat est de dissiper l'énergie d'orientation, qui produit les effets de l'étincelle ou de la foudre.

Nous verrons plus loin combien cette remarque est importante, lorsque nous examinerons la nature de l'atome.

M. Zenger montre l'existence de ce mouvement giratoire d'ensemble en faisant tourner une sphère en verre S (fig. 36), disposée sur un axe de rotation *a*. La rotation s'établit lorsque les conducteurs *c*, *c'* sont mis en communication avec les pôles d'une machine électrostatique. Mais une preuve peut-être plus démonstrative et moins accessible à la critique que donne ce physicien, se trouve dans l'examen d'une plaque de verre argenté frappée par la foudre. La reproduction de cette plaque ne demande pas de commentaires ; on voit le tracé de l'hélice en relief à l'intérieur des trous coniques résultant de la fusion produite par l'étincelle.

M. Zenger fait encore jaillir des étincelles à la surface de glaces recouvertes de noir de fumée. Il obtient ainsi des traînées dont l'axe est intact et correspond bien au centre de la tempête.

§ 13. — *Particularités de l'étincelle et figures électriques.*

Lorsque l'étincelle jaillit entre deux conducteurs, il est aisé de voir ce qui va se produire : un courant d'éther va du pôle positif au pôle négatif; ce courant déterminera dans le milieu ambiant un vide éthéré tout à fait comparable au vide d'air que l'on observe dans le voisinage d'une tuyère projetant un jet d'eau sous pression. Si l'on place dans le voisinage une balle de sureau *f*, suspendue à un fil, on remarque que cette balle est vivement attirée vers l'embouchure de la tuyère. De la même manière, cette balle est vivement attirée vers le pôle positif (fig. 37) pendant la production de l'étincelle. Seulement, comme il s'agit ici d'un phénomène éthéré et non d'un phénomène aérien, cette action se transmet au travers des diélectriques, et l'attraction dont nous venons de parler se produit de la même manière si la balle de sureau est suspendue à l'intérieur d'un verre de lampe fermé à ses deux extrémités.

Lorsque l'on atteint la limite de charge, il se développe particulièrement aux pointes, ainsi que nous l'avons dit, des embryons d'étincelle que l'on désigne sous le nom d'aigrettes; l'aigrette positive présente l'apparence de filaments lumineux très déliés,

l'aigrette négative présente en général l'apparence d'un point lumineux. Cependant, dans certains cas, comme nous l'avons vu, l'aigrette négative présente l'aspect d'un tube long et large; l'aigrette positive a toujours les caractères d'un filament délié.

Figures de Lichtenberg. — Si l'on électrise un plateau de résine par frictions à l'aide d'un conducteur mis en communication avec une machine électrostatique, et si ensuite on saupoudre le plateau de poudre de soufre en agitant un sachet de mousseline renfermant du soufre pulvérisé, celle-ci se dépose aux points électrisés. L'électricité positive fournit l'image de filaments déliés, l'électricité négative détermine de petits disques voisins les uns des autres. Nous pouvons remarquer ici, de même que dans l'étincelle, que chaque tourbillon localisé sur le diélectrique est lui-même formé par l'ensemble d'un très grand nombre d'ions ou tourbillons élémentaires, de manière à réaliser les dimensions considérables que nous constatons.

Si la surface est électrisée à la fois positivement et négativement, les dessins formés se montrent très nettement en saupoudrant avec un mélange de soufre et de minium. Le minium se fixe sur les figures négatives, le soufre sur les figures positives.

Afin de reconnaître quelle est la nature et le mode de répartition de l'énergie électrique dans l'aigrette développée à l'extrémité d'une pointe, nous avons disposé à une distance d'environ 5 millimètres et normalement à son axe une lame de résine (1). La pose est d'environ cinq minutes. Puis nous avons saupoudré la plaque de soufre en poudre au travers des mailles d'un sachet en toile très fine, afin de reconnaître quels sont les points qui sont chargés d'électricité positive, et nous avons opéré ensuite de la même manière à l'aide de minium, afin de reconnaître quels sont les points chargés d'électricité négative, l'expérience n'étant en réalité autre chose que celle de Lichtenberg.

L'énergie développée par la bobine d'induction présentait un

(1) Afin d'obtenir avec facilité des lames de résine, il suffit de couler cette substance sur une feuille de carton; elles ont une épaisseur de 3 à 4 millimètres. Il est bon d'ajouter un peu de cire pendant la fusion, pour éviter que des fentes se produisent.

vif intérêt. On sait, en effet, que chacun des pôles développe alternativement les deux électricités à des tensions différentes. Le pôle qui présente l'aigrette la plus développée possède l'énergie positive à plus haute tension que l'énergie négative et il en est inversement de même pour l'autre pôle.

Si l'on exécute l'expérience indiquée plus haut, on constate la production d'une série d'anneaux concentriques, l'énergie dont la tension est le plus faible occupant toujours le disque central. Il en résulte que l'effluve du *pôle aigrette* (+) prend en section la forme figure 39, les parties hachurées correspondant à l'électricité négative. L'effluve du pôle *non-aigrette* (—) correspond à la figure 40.

Il en résulte que si l'on considère les deux pôles de la bobine munis de pointes et placés l'un vis-à-vis de l'autre, les électricités de noms contraires correspondent.

La reconstitution des deux électricités se fait donc, dans ces conditions, par zones concentriques emboîtées les unes dans les autres.

Nous avons vu que l'étincelle de la bobine est, dans certains cas, formée d'un tube à l'intérieur duquel chemine en sens contraire un filet électrique très délié. Cette expérience montre que le mode de reconstitution par effluve lente se fait par un mécanisme absolument identique.

En faisant usage de l'aigrette de la machine de Holtz dont le pôle non utilisé est mis à la terre, on obtient un disque central A (fig. 41) entouré d'une auréole très étendue. Mais il importe de remarquer que, *quel que soit le pôle utilisé, cette figure est obtenue soit avec le soufre, soit avec le minium.* Seulement le pôle positif ou aigrette condense plus de soufre en A que le minium; l'inverse a lieu en B. La réciproque est vraie pour le pôle non-aigrette.

Figures en relief (1). — Le plateau étant électrisé par le procédé que nous venons d'indiquer, si l'on approche la surface de résine d'une tôle chauffée (par exemple d'un poêle, mais non

(1) Extrait des *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), n° 2, pp. 66-67, 1901.

pas d'une flamme qui aurait pour effet de décharger le plateau), de manière à produire un commencement de fusion, on voit alors apparaître en relief des figures analogues à celles de Lichtenberg.

Cette première constatation étant établie, les points électrisés apparaissent-ils en creux ou en relief? Afin de résoudre la question, nous avons concentré l'électricité sur une ligne droite à l'aide de deux becs de Bunsen par exemple. Si l'on vient à chauffer le plateau dans ces conditions, on voit que le trait apparaît en creux, *quel que soit le signe de l'électricité.*

Les choses se passent donc comme si les points électrisés d'un signe quelconque exerçaient une pression considérable à la surface du plateau.

La seconde question qui se pose est relative aux figures obtenues par les deux électricités à la surface des plateaux simplement électrisés.

Si l'on se sert d'électricité positive, l'expérience montre, ainsi qu'on devait s'y attendre, une série d'aigrettes moulées en creux. Mais si l'on opère à l'électricité négative à haut potentiel, il se produit un fait inattendu. Des aigrettes absolument comparables aux aigrettes positives se produisent encore, *mais elles apparaissent en relief.* Les parties de la surface qui correspondent à l'aigrette sont donc ici privées d'électricité; les autres parties sont électrisées, contrairement à ce qui se passe pour l'électricité positive.

Ajoutons que lorsque le potentiel électrique négatif dont on se sert est relativement faible, on remarque à côté des aigrettes une série de cratères déprimés correspondant aux taches circulaires obtenues par le procédé de Lichtenberg.

On peut se demander encore comment il se fait que l'électricité exerce une pression si considérable à la surface des diélectriques. Pour s'en rendre compte, il suffit de rappeler que les molécules des diélectriques sont comparables à une série de conducteurs séparés qui subissent l'action de l'influence et dès lors s'attirent les uns les autres. Un diélectrique électrisé est donc soumis à une pression dirigée du dehors au dedans.

CHAPITRE II.

Phénomènes électromagnétiques.

---

§ 1. — *Le courant.*

Le courant n'est autre chose qu'une manifestation de l'*induction électrostatique.* Nous avons vu par quel mécanisme ce phénomène nouveau détermine le transport de charges électriques en pleine matière, dans un milieu iodynamique. Nous avons vu également que la pression ou la dépression de l'éther développée par ce mouvement des ions était capable d'électriser les conducteurs à distance. Ce dernier point est d'une importance capitale; les éléments matériels ou ions n'entrant jamais, à proprement parler, en contact, on ne peut faire intervenir que la considération d'actions à distance.

Dans l'exemple considéré au chapitre précédent, la substance transmettant la charge était l'air atmosphérique rendu iodynamique ou conducteur de l'électricité par l'aigrette ou par un phénomène analogue. Le transport de l'énergie se faisait de plus en partie simple, c'est-à-dire que nous avons réalisé le transport d'une charge positive ou d'une charge négative d'un conducteur électrisé à un conducteur à l'état neutre.

Dans le courant tel qu'il se produit généralement, le phénomène se développe de la même manière, mais en partie double, c'est-à-dire que les deux conducteurs sont électrisés de signes contraires et se neutralisent mutuellement. En second lieu, l'iodynamisme du milieu est préexistant; il en est ainsi notamment des métaux, particulièrement bons conducteurs de l'électricité.

Avant l'établissement du courant, l'espace compris entre les pôles *a*, *b* sera occupé par un certain nombre d'ions positifs, par

montre que, en vertu de l'action que nous venons d'indiquer, l'aiguille se déplace dans le sens de la flèche, ainsi que le veut la théorie, comme si le pôle négatif exerçait une action répulsive plus grande que le pôle positif.

§ 3. — *Force électromotrice, intensité, résistance.*

La *tendance* continue à la neutralisation mutuelle des deux pôles a été désignée sous le nom de *force électromotrice;* elle est proportionnelle à la tension électrique des pôles.

L'*intensité* du courant représente la quantité d'énergie neutralisée pendant l'unité de temps par l'intermédiaire du conducteur.

La *résistance* du conducteur représente la faculté plus ou moins grande qu'il possède de s'opposer à la reconstitution des deux électricités.

Cela étant, la loi de Ohm s'exprime en disant que l'intensité du courant est directement proportionnelle à la force électromotrice et inversement proportionnelle à la résistance du conducteur.

Dans la théorie que nous proposons, l'intensité du courant représentera le nombre N d'ions orientés dans un cylindre de hauteur égale à l'unité ;

La force électromotrice, le nombre n d'électrons orientés par unité de surface de la section droite de ce cylindre.

Cela étant, considérons deux conducteurs de même section et respectivement de longueur l et $2l$ (fig. 5), soumis à la même force électromotrice. Le nombre total d'ions orientés sera le même. En d'autres termes, le nombre N d'ions orientés dans le cylindre de hauteur égale à l'unité sera deux fois moindre pour le conducteur de longueur double; l'intensité N du courant sera deux fois moindre.

En second lieu, le nombre d'ions orientés dans ce volume sera, toutes choses étant égales, proportionnel à la section du conducteur, ou tout au moins les choses se passeront comme s'il en était ainsi, la cause efficace étant la même.

Si nous représentons par V le nombre d'électrons orientés sur la surface S,

$$N = \frac{V}{l}.$$

Ou encore, puisque $V = nS$:

$$N = \frac{nS}{l}.$$

Ou, si nous représentons par r le terme $\frac{l}{S}$, nous aurons :

$$N = \frac{n}{r},$$

r étant désigné sous le nom de résistance.

Donc nous retrouvons :

1° La loi de Ohm d'après laquelle l'intensité N est directement proportionnelle à la force électromotrice n et en raison inverse de la résistance;

2° La résistance est directement proportionnelle à la longueur du conducteur et inversement proportionnelle à sa section.

Le travail transmis sera directement proportionnel à V et directement proportionnel à l'action que ces ions exercent les uns sur les autres, c'est-à-dire inversement proportionnel à leur distance

$$T = \frac{V}{d}.$$

Or $V = nS$ et $d = \frac{l}{n}$.

La distance d des ions est directement proportionnelle à la longueur du conducteur et inversement proportionnelle à la force électromotrice (de même qu'un ressort a sa longueur diminuée de moitié s'il est soumis à une force double).

Nous avons donc

$$T = \frac{nS \times n}{l}; \quad \text{or} \quad N = \frac{nS}{l},$$

d'où

$$T = Nn, \quad \text{ou encore} \quad n = \frac{Nl}{S},$$

d'où

$$T = N^2 \frac{l}{S} = rN^2,$$

expressions de la loi de Joule.

§ 4. — *Production des courants par contact, ou les courants thermo-électriques.*

Le moyen théoriquement le plus simple de réaliser le courant consiste à établir le contact entre deux métaux iodynamiques dont les ions possèdent à la fois d'une manière préexistante : 1° la forme qui correspond à l'élément de courant ; 2° des tensions différentes capables d'amener l'orientation ainsi que nous l'avons montré dans l'électrisation statique par contact.

Mais il ne suffit pas d'amener ici une simple orientation superficielle α, β, il faut en même temps que les ions possèdent la forme $\alpha'\alpha''$, $\beta'\beta''$ (fig. 6), qui correspond au courant.

Nous pouvons donc conclure que les conditions de l'électrisation en pleine matière qui correspondent au courant étant différentes de celles de l'électrisation superficielle, le classement des métaux se fera aussi différemment pour ces deux ordres de phénomènes.

Voici l'ordre dans lequel se classent les métaux, le plus positif occupant le dessus de la série I :

Électrisation de surface.	Électrisation en pleine matière.
I.	II.
»	Fe
Zn	Zn
Pb	Ag
Sn	Au
Fe	Cu
Cu	Sn
Ag	Pb
Au	Pt
Pt	»

Il est inutile de dire qu'il n'existe entre ces séries aucun rapport. Au contraire, la relation apparaît nettement si l'on compare la faculté que possèdent les métaux de développer un courant thermo-électrique, à leur magnétisme ou à leur diamagnétisme.

Classification des métaux par ordre de décroissance de leur faculté diamagnétique.	Nombres indiquant le rapport des forces électromotrices développées.
Bi	890
Sb	226
Zn	37
Cd	4
Pb	0
Cu	1
Ordre croissant du caractère magnétique.	
Pt	9
Fe	171

En effet, nous verrons que le magnétisme et le diamagnétisme sont dus à l'existence de courants moléculaires préexistants, qu'il suffit d'orienter les ions afin de voir apparaître la propriété magnétique ou diamagnétique.

§ 5. — *L'induction électromagnétique.*

Nous avons vu que l'induction électrostatique était le résultat de la pression ou de la dépression d'éther développée soit en avant, soit en arrière des ions en mouvement. Cette induction correspond à la transmission de l'énergie par l'intermédiaire du courant, *elle est longitudinale,* c'est-à-dire qu'elle se développe dans le sens du mouvement des ions.

L'induction électromagnétique s'observe de la manière suivante. Si un conducteur parcouru par un courant se trouve disposé parallèlement à un circuit fermé, on observe qu'il se produit dans ce dernier un courant instantané au moment de

la fermeture du premier (courant inducteur). Ce courant instantané (courant induit) se produit en sens inverse du premier. Le contraire a lieu au moment de l'ouverture du courant inducteur.

Cette induction est transversale. Afin de se rendre compte de son mécanisme, considérons un ion α (fig. 7) appartenant à un courant orienté et supposons que l'on vienne à déterminer le renversement de cette orientation α'; il se produit alors une demi-oscillation éthérée qui se communique un instant à l'ion récepteur r de l'induit, qui s'oriente en sens inverse. Dans l'exemple figure 7, les choses se passeront comme si le ressort R (fig. 8), recevant une impulsion de bas en haut, communiquait par l'intermédiaire d'un cordon une impulsion de haut en bas au sommet du ressort R'.

Donc l'induit sera de sens contraire au courant commençant.

Nous obtiendrions encore le même résultat si le courant n'était pas orienté au début, mais avec cette différence que les ions qui, par hasard, sont déjà orientés, ne prendront point part à l'action. Ce sont les ions qui se *désorientent* en sens contraire qui déterminent l'effet inverse.

Chaque renversement de courant détermine une demi-oscillation qui, comme nous le verrons, est comparable aux oscillations hertziennes. Si l'on vient à rompre un circuit parcouru par un courant, on observe à ce moment un accroissement considérable de force électromotrice à laquelle correspond l'étincelle d'induction du circuit sur lui-même. Inversement, la fermeture du circuit est toujours accompagnée d'un retard dans l'établissement du courant. Ces courants de fermeture et d'ouverture sont le résultat de l'inertie des ions. Ils se précipitent en masse à la limite du chemin de libre parcours au moment de l'ouverture et y déterminent un véritable coup de bélier d'éther. Au contraire, au moment de l'ouverture, il faut un certain temps pour que l'orientation se produise.

Si nous maintenons le sens de nos définitions, ce dernier fait est donc un phénomène d'induction électrostatique.

Il existe la même différence entre l'*induction électrostatique*

et l'*induction électromagnétique* que celle qui existe entre la propagation longitudinale et la propagation transversale de l'énergie (son, lumière). L'une est due à une pression d'éther, l'autre à un déplacement transversal.

Un conducteur parcouru par un courant étant, si l'on se place à ce point de vue, comparable à une série de petits conducteurs électrisés réciproquement par influence, nous pourrons, par une disposition semblable, reproduire le phénomène de l'induction transversale ou électromagnétique, à l'aide d'une série de conducteurs électrisés réciproquement par influence.

L'inducteur se compose d'une série de petits conducteurs (fig. 9) *a, b, c, d, e,* séparés par des plaques d'ébonite; l'induit est construit d'une manière identique, les deux extrémités β, γ étant reliées par un fil métallique. Cela étant, la disposition correspondante des tourbillons est indiquée par la figure pour le courant commençant. Dans ces conditions, le fil placé à la place *f* fournira à l'électroscope une charge d'électricité positive, et une charge de nom contraire au moment où l'on supprime la charge de l'inducteur.

L'inducteur était actionné par une machine de Holtz, qui se trouvait dans l'appartement voisin, afin d'éviter toute action perturbatrice.

Le fil *f* fournira à l'électroscope une charge d'électricité positive *qui se maintiendra,* car l'induction *électrostatique* fait défaut dans ces systèmes, alors qu'elle caractérise les conducteurs. Il faut donc, afin d'observer l'induit d'ouverture de signe contraire, prendre la précaution de décharger le système induit par l'action commençante, avec une flamme par exemple. Au moment où l'inducteur se décharge, il se produit une charge *définitive* de nom contraire en *f*.

L'identité avec le courant induit ordinaire devient complète si l'on dispose de petits ponts δ en fil de verre légèrement conducteur. L'équilibre des tourbillons disparaît alors après quelques instants, et le système revient à l'état neutre après l'induction instantanée (il faut pour cela quelques instants). On constate ainsi la production des charges instantanées de noms contraires,

de l'induit d'ouverture et de fermeture, sans avoir besoin de décharger le circuit induit.

§ 6. — *Magnétisme et diamagnétisme.*

On désigne sous le nom de substance magnétique toute substance qui est attirée par l'aimant, et sous le nom de substance diamagnétique, toute substance qui est repoussée par l'aimant. Afin de nous rendre compte du phénomène, imaginons une substance iodynamique affectant la forme cylindrique, par exemple figure 10, au-dessus de laquelle nous disposerons parallèlement à la base un conducteur circulaire C parcouru par un courant. Au moment de l'établissement de celui-ci, il s'établira par induction électromagnétique dans la masse A un courant circulaire instantané de sens contraire.

Cette action instantanée ayant cessé de se produire, ces ions orientés parallèlement au circuit C reprendront leur forme naturelle. Si celle-ci correspond à un courant de sens contraire au courant C, il y aura répulsion permanente entre C et A; si ce courant est de même sens, il y aura attraction réciproque. Si, enfin, la forme naturelle des ions ne correspond pas au courant (|——|, <—>, >—<), il n'y aura ni attraction ni répulsion permanente. Mais lorsque ces courants seront capables de se produire, le parallélisme des ions de A et de C se maintiendra, grâce au tourbillon d'éther engendré par le courant inducteur et dû au déplacement de cette substance dans le sens du courant, ainsi que nous l'avons vu.

Si nous éloignons A de C, deux cas pourront se présenter : ou bien les ions de A conserveront leur orientation primitive, ou bien ils ne la conserveront pas. S'ils la conservent, nous dirons que la substance est douée de *force coercitive*, et le barreau A représentera un aimant. Telle est la propriété de l'acier trempé. S'il ne la conserve pas, l'aimantation disparaîtra.

Nous pourrons maintenant remplacer le conducteur C parcouru par un courant par l'aimant qui jouit des mêmes pro-

priétés et désigner respectivement, ainsi que nous l'avons dit, sous le nom de substances magnétiques et diamagnétiques, celles qui sont attirées et repoussées par l'aimant.

Nous voyons maintenant pourquoi les substances magnétiques et diamagnétiques sont les seules capables de développer des courants thermo-électriques.

§ 7. — *Perméabilité magnétique.*

Considérons le courant *c* (fig. 10) ou, ce qui revient au même, l'aimant A placé à une certaine distance d'un cylindre en fer F (fig. 11), le milieu interposé étant l'air ou le vide (le résultat est à peu près le même). Dans ces conditions, les actions dont nous venons de parler se transmettront à travers ce milieu et par l'intermédiaire de l'éther interposé. Supposons maintenant qu'au cylindre idéal *c* d'éther, on vienne à substituer un cylindre d'une substance qui n'est ni magnétique ni diamagnétique. Les éléments subiront de proche en proche, de tranche en tranche, la première action d'induction dont nous avons parlé au moment de l'application de l'aimant A et se communiqueront à F, qui conservera sa propriété d'aimant, c'est-à-dire sera attiré par A pendant tout le temps de son application. La perméabilité magnétique aura pour mesure l'énergie d'orientation qui aura ainsi été transmise.

Si la substance *c* est diamagnétique, les choses se passeront à peu près de la même manière pour ce qui concerne la première phase d'induction ; quant à la phase permanente d'attraction, nous remarquerons que les actions attractives de A pour F seront en partie ou en tout équilibrées par les actions répulsives de *c* par A et de *c* par F.

La perméabilité magnétique serait donc nulle pour une substance dont le diamagnétisme serait égal au magnétisme du fer. Ce cas ne se présente pas dans la nature, mais l'expérience montre que les corps diamagnétiques sont moins perméables que le vide.

Le dernier cas est celui où la substance c est elle-même magnétique. Dans ces conditions, il y aura simplement transmission du phénomène d'orientation comme si A et F étaient en contact, ou dans une proportion moindre si c est moins magnétique que F. L'expérience démontre que le fer transmet l'action magnétique avec une intensité environ trois cents fois plus grande que le vide.

Ces considérations amènent à une conséquence assez étrange. Toutes choses étant égales dans le phénomène de la transmission de l'action magnétique, la première phase d'induction intervient seule. Si, par l'intermédiaire de c, nous avons orienté deux fois plus d'ions en F, l'action attractive qui se manifeste ensuite d'une manière permanente est doublée. Cette action permanente paraît indépendante du milieu interposé.

C'est ainsi que tous les corps qui ne sont ni magnétiques ni diamagnétiques possèdent sensiblement la même perméabilité, qui est celle du vide.

L'attraction électromagnétique se transmet donc au travers de la matière comme si elle n'existait pas. Elle posséderait cette propriété en commun avec l'attraction newtonienne.

§ 8. — *Origine des attractions et des répulsions électromagnétiques.*

Nous avons vu dans le chapitre Ier quelle était l'origine des actions électrostatiques à distance; les actions électromagnétiques en sont la conséquence.

Si l'on considère la série ionique *ab* (fig. 12) constituant le courant, il résulte de ce que nous avons dit que celle-ci est parcourue par un courant axial *et tourbillonnant* d'éther se dirigeant du pôle positif vers le pôle négatif, quel que soit du reste le sens du mouvement des ions.

Imaginons maintenant un courant circulaire réalisé artificiellement ou de l'ordre de ceux que nous avons considérés dans les aimants.

Un pareil système produira un mouvement circulaire ou tourbillonnant d'éther, dirigé du pôle positif vers le pôle négatif, *et dont chaque spire constitue elle-même un tourbillon* (le tourbillon électrostatique); en un mot, nous réaliserons ce que nous appellerons un *tourbillon de deuxième ordre.*

C'est ici que viennent se placer les admirables expériences de M. Weyher, qui a réussi à réaliser, à l'aide de simples tourniquets munis de palettes, toutes les particularités des actions attractives ou répulsives que présentent les aimants ou les solénoïdes.

Si l'on vient à placer deux tourniquets C, D (fig. 13) parallèlement l'un à l'autre et si on les fait tourner en sens contraires de manière à rendre les spires α, β des tourbillons parallèles, on constate que les extrémités A, B et A′, B′, qui figurent les pôles de noms contraires, s'attirent; qu'il y a répulsion si les spires α, β se déplacent en sens contraires.

M. Weyher a non seulement pu reconnaître cette analogie dans ce cas particulier, mais encore une parfaite concordance lorsque les tourniquets sont placés sur le prolongement l'un de l'autre et lorsque leurs directions sont perpendiculaires, et dans ce dernier cas apparaît l'existence de la région neutre. Seulement, dans l'attraction électromagnétique, chaque spire α est constituée elle-même par un tourbillon.

Nous voyons maintenant par cette expérience que deux courants parallèles et de même sens s'attirent; le contraire a lieu lorsqu'ils sont de sens contraires.

Ce tourbillon d'éther devient remarquablement apparent lorsque l'on place un tube parcouru par un rayon cathodique dans l'axe d'un électro-aimant. M. Broca a montré que ce rayon s'enroule en spirale *et dans le sens que nous avons indiqué,* comme le ferait la fumée soumise à un tourbillon aérien.

M. Zenger, ayant suspendu une sphère en cuivre à un fil métallique de manière à faire coïncider l'axe d'un électro-aimant avec son prolongement, a remarqué d'abord ce fait connu que si l'on vient à tordre le fil de manière à imprimer un mouvement de rotation rapide à la sphère, ce mouvement est enrayé du moment où l'électro-aimant est mis en activité. Mais si la sphère

est déplacée latéralement, on la voit décrire autour de l'axe de l'aimant une série de spires concentriques qui témoignent de l'existence du tourbillon.

§ 9. — *Perméabilité électrostatique et électromagnétique.*

D'après ce que nous avons vu, la perméabilité magnétique est telle (si l'on fait abstraction des actions retardatrices ou diamagnétiques) que les choses se passent comme si la matière n'existait pas; le tourbillon d'éther (1er ordre), comparable à un filament très délié, tordu, s'enroule et tourbillonne (2e ordre) dans les milieux matériels sans rencontrer de résistance sensible. La vitesse de déplacement des spires tourbillonnantes est donc la même que si la matière n'existait pas.

Notre filament tordu, spire du tourbillon électromagnétique, ne représente autre chose que l'axe d'une série ionique de courants, c'est-à-dire le tourbillon électrostatique de premier ordre. En pleine matière à son développement correspond le courant. Or, celui-ci se propage, comme on le sait, avec la vitesse de la lumière dans tous les conducteurs si l'on fait abstraction de la diffusion du courant (expérience de Blondelot). Nous pourrons donc dire que la *perméabilité électrostatique* est la même pour tous les corps. Cette vitesse de propagation est du reste très vraisemblablement celle de l'influence dans le vide.

Nous conclurons donc à l'absence de résistance à la propagation d'un tourbillon élémentaire dans les milieux matériels.

Ici se pose une question importante. Nous avons vu dans le chapitre de l'électrostatique que les substances non conductrices étaient transparentes pour l'influence, alors que les métaux se montrent parfaitement opaques; il semble donc exister une contradiction flagrante entre ce que nous avons dit précédemment et notre assertion actuelle.

Afin de résoudre la difficulté, il suffit d'observer l'étincelle et les figures de Lichtenberg. Nous voyons que le tourbillon électrostatique n'est pas simplement un tourbillon ionique, mais bien

un tourbillon appartenant à l'ordre des dimensions tangibles. En réalité, un certain nombre de tourbillons ioniques se sont groupés pour former un tourbillon d'ensemble. Il en résulte que la vitesse d'entraînement V, tangentielle à la surface, ne permettra le raccordement des ions que sur une épaisseur relativement très faible à l'intérieur d'un conducteur où ils ne peuvent se déplacer latéralement.

C'est vraisemblablement la raison pour laquelle l'électricité statique se maintient à la surface des conducteurs. Mais si ce mouvement tourbillonnant n'existe pas, les conducteurs transmettent l'orientation au sein de leur masse, ainsi que cela se passe pour le courant.

§ 10. — *Production des courants par induction.*

D'après ce que nous avons vu, si l'on vient à approcher ou à éloigner un courant ou un aimant d'un circuit fermé, ou encore si l'on développe ou si l'on supprime un courant dans le voisinage de ce circuit, il se développe des courants d'induction.

Il n'y a donc pas lieu d'y revenir, mais il sera utile d'indiquer des cas spéciaux d'induction.

Si nous considérons un disque métallique, par exemple un disque en cuivre C (fig. 14), tournant dans le voisinage du pôle d'un aimant A, il se développe, par suite du rapprochement et de l'éloignement de l'aimant des éléments du disque, des courants d'induction parasites, découverts par Faraday. Matteuci a étudié d'une manière toute spéciale les chemins parcourus par ceux-ci dans l'épaisseur du disque. Les chemins parcourus par ces courants sont figurés par des courbes assez compliquées. Mais il est possible de dériver une partie de ceux-ci en appliquant légèrement un ressort *r* sur la périphérie du disque. Un fil conducteur fixé à celui-ci et à l'axe de rotation est alors parcouru par un courant. Telle est même la première machine magnéto-électrique imaginée par Faraday.

Au lieu d'utiliser l'aimant A, on peut utiliser l'aimant terrestre;

en orientant convenablement le disque, on obtient ainsi des courants appréciables.

Si nous remarquons qu'en vertu de la loi de Lenz, le disque tend constamment à se déplacer en sens inverse du mouvement qu'on lui communique, le disque devra éprouver une résistance dans son mouvement de rotation. De même, si l'on fait osciller une aiguille aimantée au-dessus d'un disque en cuivre, ces oscillations ne tardent pas à être amorties.

Ces phénomènes d'induction sont donc dus en résumé à l'existence des ions orientés de l'aimant. Afin d'obtenir cette orientation ionique, on peut se servir de moyens mécaniques; c'est ainsi que si l'on vient à tourner un barreau d'acier trempé, le frottement de l'outil se produisant toujours dans le même sens, il y a aimantation.

§ 11. — *Induction monométallique.*

Nous avons remarqué que cette orientation due au frottement se produit non seulement pour l'acier, mais pour tous les métaux pendant un temps très court, mais suffisant pour déterminer des courants d'induction.

Voyons ce qui va se passer si l'on appuie à l'aide d'un ressort une pièce métallique contre la tranche d'un disque tournant rapidement et formé du même métal (fig. 15).

Au moment où le contact aura lieu, les ions α, d'abord orientés suivant une direction quelconque, s'orienteront suivant une direction unique, par exemple le sens α' pour le disque.

Mais lorsque les ions α' quitteront le frottoir, ils conserveront un instant leur orientation, d'où il résulte que le courant représenté par les ions α'', en s'écartant du conducteur représenté par le frottoir, y déterminera un courant induit, dont le sens sera indépendant du sens de la rotation du disque. Dans l'exemple que nous donnons, le frottoir représenterait le pôle négatif.

Remarquons que les métaux à ions dissymétriques, c'est-à-

dire les métaux magnétiques et diamagnétiques, seront seuls capables de fournir un courant.

Si, au lieu de considérer un métal quelconque, nous considérons un aimant, les ions sont *orientés*, les ions α seront remplacés par les ions β; de plus, l'effet sera doublé, car l'approche des électrons positifs de β déterminera sur l'induit la même action que l'éloignement des électrons négatifs de α''. Il en résultera un courant tel que le frottoir correspondra au pôle négatif, lorsque le sens de la rotation est celui que nous indiquons. Le frottoir correspondra évidemment au pôle positif si la rotation s'exécute en sens contraire.

Donc, *lorsque la rotation s'exécute dans le sens du courant aimant, le frottoir correspondra au pôle négatif.*

Remarquons maintenant que pendant la rotation du disque, le frottoir s'échauffe plus ou moins et que, dès lors, au phénomène d'induction viendra se superposer le courant résultant de la différence de température entre le frottoir et le disque, dit « effet Thomson ».

Mais il est aisé de distinguer ces deux courants par cela qu'ils ont souvent des sens différents.

Le résultat le plus intéressant est celui qui est fourni par la fonte de fer grise. La surface frottante du frottoir F était préalablement polie à l'aide d'une pierre à l'émeri montée sur l'axe d'un tour. Le polissage était effectué, par exemple, suivant une direction *ab*; cela étant, si l'on fait coïncider la direction du polissage avec celle de la circonférence du disque, on constate un courant de sens déterminé; si ensuite on vient à disposer la direction du polissage perpendiculairement à la direction du mouvement de rotation du disque, on remarque généralement que le courant produit est de sens contraire.

L'effet Thomson est toujours de même sens et faible relativement à l'intensité du courant que nous examinons; le premier persiste, de plus, quelques instants lorsque la rotation du disque a cessé, si celui-ci s'est échauffé.

L'antimoine présente la même particularité, mais plus faiblement, ainsi que le bismuth. Le zinc nous a toujours fourni

des courants de même sens, mais de sens contraire à l'effet Thomson.

Le disque en fonte grise muni du frottoir en zinc nous a fourni encore ce curieux phénomène du renversement du courant. Ce frottoir, après avoir été soumis au frottement du disque en fonte pendant un certain temps, a fourni un courant de sens déterminé, toujours le même; mais si on lui fait subir une rotation de 90°, le courant change de sens. Il est, du reste, à remarquer que l'aiguille du galvanomètre revient instantanément au zéro lorsque la rotation cesse. Si la rotation a duré pendant un certain temps, il persiste un léger courant résiduel toujours de même sens, dû à l'effet thermo-électrique résultant de l'échauffement du frottoir.

Nous nous trouverions donc ici en présence de l'*analogue électromagnétique* de l'électrisation électrostatique de la machine de Ramsden.

Nous retrouvons ici la nécessité, pour produire ces courants, d'utiliser des métaux magnétiques ou diamagnétiques. Ces derniers se classent dans le même ordre que celui que nous venons d'indiquer pour l'action thermo-électrique. Dans l'ordre décroissant d'effets, on trouve : Bi, Sb, Zn, Cu; ensuite la fonte de fer, qui fournit un courant relativement très intense.

Le bronze composé de 86 parties de cuivre et de 14 parties d'étain ne produit aucun courant. L'aluminium développe un courant extrêmement faible.

Ces expériences ont été réalisées à l'aide de l'appareil que nous reproduisons photogramme I.

Nous venons de voir que la théorie montre que *lorsque la rotation s'exécute dans le sens du courant aimant, le frottoir correspond au pôle négatif.* Nous avons tenu à vérifier ce fait important à l'aide d'un courant quelconque. A cet effet, nous avons fait construire une bobine en bois ayant 19 centimètres de diamètre sur 30 centimètres de longueur, munie d'un axe en bronze afin d'éviter toute action émanant d'un aimant. Le fil de cuivre servant de conducteur avait 4 millimètres de diamètre; le nombre de tours de fil était de soixante. La bobine était enve-

loppée d'un cylindre en laiton de diamètre *d* (fig. 15bis) et d'un cylindre en laiton de diamètre plus grand *d'*. Pendant la rotation, un ressort en laiton appuyait légèrement sur le cylindre *d*, un autre ressort sur le cylindre *d'*. Tous deux étaient reliés aux bornes d'un galvanomètre sensible à aiguilles astatiques. Remarquons que par cette disposition le ressort appliqué en *d* subissait l'induction, alors que le ressort appliqué sur le cylindre *d'* ne la subissait que faiblement, par suite de l'éloignement de la bobine, et ne servait qu'à fermer le courant.

Cela étant, la bobine étant parcourue par un courant de 18 ampères et animée d'un mouvement de rotation rapide, nous a permis de constater :

1° Que le sens du courant dépendait du sens de la rotation de la bobine;

2° Que le ressort appliqué en *d* jouait le rôle de pôle négatif lorsque la rotation de la bobine s'exécutait dans le sens du courant, et jouait au contraire le rôle de pôle positif lorsque la rotation s'exécutait en sens opposé.

Le photogramme II représente l'appareil dans son ensemble.

Nous obtiendrions évidemment le même résultat avec un cylindre de diamètre *d* sur toute la longueur de la bobine, mais en faisant en sorte que les spires soient plus relâchées dans l'espace correspondant à *d'* que dans l'espace correspondant à *d*. Ceci nous fournit le moyen de déterminer la *densité du courant* pour les différentes tranches d'un aimant.

Si l'on substitue l'aimant à la bobine, on obtient le phénomène désigné sous le nom d'*induction unipolaire*. Nous voyons que ce phénomène peu expliqué jusqu'à présent est la conséquence nécessaire de ce que nous venons de dire.

§ 12. — *Courants de convexion.*

Nous désignerons sous le nom de courants de convexion ceux qui sont développés à l'aide de charges statiques répandues à la surface de conducteurs et pour lesquels les mouvements des

ions des substances iodynamiques sont remplacés par des mouvements réalisés artificiellement.

Lorsque nous nous sommes occupé dans le chapitre Ier des machines à plateaux tournants telles que la machine de Whimshurst, nous avons examiné implicitement des courants de cette espèce.

Lorsque les ions α se rapprochent du conducteur positif et de même lorsque les ions β se rapprochent du conducteur négatif, il se développe des courants de convexion *contre-électromoteurs* qui tendent à charger ces conducteurs.

Un galvanomètre à aiguilles astatiques, placé à plusieurs mètres d'une machine de Holtz, nous a montré qu'au moment de la charge, c'est-à-dire au moment où l'on tire le déflagrateur, il se produit une déviation instantanée de l'aiguille; de même au moment de la décharge, il se produit une déviation en sens contraire.

Les actions observées par Rowland lorsque l'on déplace rapidement une charge électrostatique et qui, sous certains rapports du moins, fournissent des effets identiques à ceux du courant lui-même, paraissent devoir s'interpréter de la même manière.

Voici la façon la plus simple de concevoir l'action du courant de convexion de Rowland sur l'aiguille aimantée ou, ce qui revient au même, sur un autre courant.

Considérons une surface S (fig. 16) électrisée positivement, par exemple, se déplaçant dans le sens de la flèche, ainsi qu'un conducteur c parcouru par un courant, également dans le sens de la flèche. Rappelons également ces lois de l'induction électrostatique que lorsque l'électron positif α s'approche de l'électron négatif α', il y a attraction, et que de même lorsque l'électron positif β s'écarte de l'électron positif β', il y a également attraction. Nous voyons donc qu'à ce point de vue, le transport de l'électricité positive dans une direction déterminée développe un effet comparable à celui que produirait un courant de même sens. L'inverse aurait lieu si le conducteur S possédait une charge de signe contraire.

Mais on peut se demander si ce courant de convexion est, à tous les points de vue, comparable au courant normal.

§ 13. — *Les oscillations électriques.*

Nous avons vu dans le chapitre précédent quelle était la cause de l'induction. Lorsqu'un électron se déforme de manière à passer du signe + au signe — (fig. 17), il se développe une demi-oscillation de l'éther ambiant qui détermine à distance l'orientation inverse, un courant de sens contraire à celui qui correspond à la déformation inductrice. Si l'inducteur revient à sa première forme, nous obtiendrons l'oscillation transversale entière et un deuxième courant induit de sens contraire.

Tel est le mécanisme de la production des oscillations découvertes par Hertz et prévues par Maxwell.

Cela étant, en se déformant de β en γ, l'électron E (fig. 18) développera dans l'éther le quart d'onde transversale *ab*; en se déformant de γ en β, il déterminera le quart d'onde *ba'*; la déformation suivante déterminera le quart d'onde *a'c*, et ainsi de suite.

En résumé, nous réaliserons dans l'éther des oscillations transversales, lesquelles, si elles viennent à rencontrer à distance un conducteur, provoqueront des orientations électroniques correspondantes, c'est-à-dire l'oscillation électrique. Le deuxième conducteur vibrera à l'unisson du premier, de même que cela se passe entre deux diapasons.

Si l'on représente par λ la longueur d'onde, par V la vitesse de propagation, par t le temps d'une oscillation, on a

$$\lambda = Vt.$$

Si nous admettons que ce mécanisme est celui de la propagation de la lumière V = 300 000 kilomètres, il faudra donc, pour obtenir des longueurs d'ondes ayant des dimensions relativement petites, réaliser des oscillations extrêmement rapides. Telle est la difficulté qui a été vaincue par Hertz.

Feddersen avait déjà remarqué que si l'on détermine la décharge d'une bouteille de Leyde, celle-ci subit une série

d'oscillations. On pouvait s'en rendre compte par cela qu'au moment de la décharge le pôle positif est toujours plus brillant. En observant dès lors la décharge au miroir tournant, on constatait que les deux pôles de l'excitateur devenaient alternativement brillants et obscurs. Une seule étincelle apparente est donc en réalité composée d'une série d'étincelles de sens contraires. Au moment de la décharge, les électrons α et β (fig. 19) sont soumis à un choc qui les oblige à osciller un certain nombre de fois du positif au négatif, ainsi que cela se passerait pour un pendule.

L'appareil de Hertz se compose d'une bobine d'induction B (fig. 20); chacun des pôles est mis en communication avec des sphères conductrices, de manière à réaliser une certaine capacité. L'étincelle alternante jaillissait en *a* et *a'*. Ce système a été désigné sous le nom d'*excitateur*.

L'appareil destiné à reconnaitre l'existence des oscillations éthérées a été désigné sous le nom de *résonateur*.

Le résonateur de Hertz se compose d'un anneau conducteur C (fig. 21), interrompu en *s* par un espace très petit. Cela étant, disposons *cd* en face de l'excitateur *aa'*, de manière qu'un plan passant par les conducteurs de l'excitateur renferme le plan de l'anneau C, la section *s* étant dans la position indiquée. La portion *csd* sera dès lors le siège d'oscillations électroniques alternantes, et des étincelles jailliront en *s*.

Si nous plaçons en face de l'excitateur *aa'* un écran métallique P (fig. 22), celui-ci réfléchira les ondes éthérées sur elles-mêmes, ainsi que cela se passe lorsque des vagues liquides viennent à rencontrer un mur vertical, et il en résultera la production d'ondes appelées stationnaires, telles que les points α, β, γ, désignés sous le nom de nœuds, seront toujours à l'état de repos. Si le résonateur est placé en ces points, il ne se manifestera pas d'étincelle. On peut donc ainsi déterminer la longueur de la demi-onde $\frac{\lambda}{2}$.

On peut reproduire, à l'aide de ces ondes, les expériences fondamentales de l'optique relatives à la réflexion, à la réfraction, à la polarisation, aux interférences.

Le phénomène de la réfraction a pu être démontré à l'aide de grands prismes en asphalte. Les expériences de Bose, qui a réussi à réaliser des ondes très petites, permettent maintenant de réduire toutes ces dimensions. La diffraction, comme on le sait, est d'autant plus accentuée que la longueur d'onde est plus grande. Bose s'en est servi pour la mesure des longueurs d'ondes électriques.

Le phénomène des interférences a été réalisé par Righi; on peut utiliser soit la méthode des miroirs, soit la méthode du biprisme.

Quant à la polarisation, elle est réalisée tout naturellement dans la production de l'onde.

Qu'il nous suffise ici de signaler ces faits qui établissent l'analogie entre l'onde électrique et l'onde lumineuse. Le lecteur pourra compléter ses connaissances par la lecture d'ouvrages spéciaux.

On a utilisé, afin de reconnaître la présence d'ondes électriques, un procédé beaucoup plus sensible que celui du résonateur de Hertz. Il est basé sur ce fait que si deux fragments d'un même métal sont mis en contact, ce contact présente une grande résistance pour certains métaux, tels que le nickel, par exemple; le cuivre ne manifeste pas cette propriété. La cause de cette résistance au contact se trouve évidemment dans cette circonstance que deux électrons α, β (fig. 23) n'exercent pas l'un sur l'autre une action suffisante pour déterminer leur orientation mutuelle α', β'.

Pour obtenir ce résultat, il suffira de soumettre ces électrons à une force capable de les infléchir simultanément dans le même sens $\alpha'\beta'$. C'est ce qui est réalisé par l'onde hertzienne, qui se comporte vis-à-vis de tous ces électrons à peu près comme un archet qui les infléchirait dans une direction unique.

Si donc nous introduisons dans le circuit d'une pile P (fig. 24) un galvanomètre G et un tube T renfermant de la limaille de nickel, le courant ne passe pas. Mais si l'oscillation hertzienne vient à rencontrer le tube T, l'orientation dont nous avons parlé se produit et le courant passe. Lorsque le courant a cessé de

passer, il suffit de communiquer un léger choc au tube à limaille pour rétablir la résistance primitive.

Tel est le principe de la télégraphie à distance réalisé par Marconi en accroissant la sensibilité du tube et en mettant celui-ci en contact avec de longues tiges métalliques, destinées à être impressionnées par l'oscillation parcourant l'espace, et qu'il désigne sous le nom d'*antennes*.

Bose a réussi à réaliser des ondes électriques n'ayant que quelques millimètres de longueur, alors qu'on sait que l'oscillation lumineuse appartient à l'ordre de $\frac{1}{10\,000}$ de millimètre.

Oscillations électriques développées dans des fils conducteurs. — Je me souviens d'avoir rencontré au cours de mes lectures cette phrase remarquable dont je n'ai pu retrouver l'auteur : « Que dirait-on d'un observateur qui, voyant se mouvoir avec la même vitesse un cheval et une locomotive, dirait que ces deux êtres sont de même nature, pour le seul motif que leurs vitesses sont les mêmes? » Nous avons vu, en effet, que l'électricité se propageait à la surface des conducteurs avec la vitesse de la lumière, alors que, dans ces conditions, le phénomène lumineux et le phénomène électrique n'ont entre eux que des rapports fort lointains.

Considérons un excitateur de Hertz (fig. 25), dans lequel les sphères ont été remplacées par des plaques conductrices, et plaçons parallèlement à celles-ci deux autres plaques conductrices munies de fils parallèles tendus.

Supposons d'abord que le plateau p reçoive une impulsion électrique orientant les ions normalement à sa surface; si l'orientation est positive en p, elle sera négative en p'. Celle-ci se propagera par induction électrostatique ou par influence aux plateaux p_1, p_1', de telle manière que pendant le temps de cette impulsion, la propagation se sera développée sur une longueur ab et cela avec la vitesse de la lumière.

Lors de l'impulsion suivante en sens contraire, nous obtiendrons l'orientation abc, qui correspondra à une longueur d'onde et ainsi de suite. En réalité, le passage du négatif au positif se produit par gradations insensibles, de telle manière que b correspondra à un nœud d'oscillations.

Afin de reconnaître l'existence de ces oscillations, on se sert encore du résonateur de Hertz, disposé soit dans la position c de manière à obtenir l'étincelle par la production des courants induits α, β, ou même dans la position verticale c', de manière à obtenir l'étincelle par la production de l'induit p de l'un des fils.

Les fils f et f' étant de longueur limitée, on réalisera par ce procédé des ondes stationnaires, ainsi que par les oscillations de l'éther.

Nous désignerons ce système orienté sous la dénomination de système Γ.

A ce premier système orienté peut s'en superposer un autre, que nous désignerons sous le nom de système Δ (fig. 26); en effet, l'induction développée par les plateaux p, p' pourra avoir pour résultat de déterminer l'orientation que nous avons examinée dans le premier chapitre, c'est-à-dire l'orientation normale au conducteur. Si nous plaçons alors le résonateur verticalement dans la position C_1, celui-ci ne pourra guère subir l'induction du système Γ, mais il subira l'induction électrostatique, ainsi que la figure l'indique, de manière à produire une étincelle à la coupure.

On doit la découverte de ces deux systèmes d'oscillations aux belles recherches de Turpain. Il a reconnu que les nœuds du premier système correspondent avec les ventres du second. Il a également observé ce fait du plus haut intérêt, que la longueur d'onde et par conséquent la vitesse de propagation du système Γ n'était pas influencée par le diélectrique dans lequel les fils plongent. Au contraire, la vitesse de propagation du système Δ varie dans le même rapport que la vitesse de la lumière. Enfin, dans le vide et pratiquement dans l'air, la vitesse de propagation est la même pour les deux systèmes.

Au lieu de déterminer la longueur d'onde en déplaçant le résonateur C, on peut utiliser la méthode du *pont*. Supposons le résonateur en activité en C, et supposons encore que l'on vienne à placer un conducteur transversal en bb' (fig. 25), c'est-à-dire à un nœud, la tension électrique étant nulle de part et d'autre, il est évident que le résonateur continuera à produire des étincelles. Il en serait autrement pour toute autre position.

Nous pouvons pousser plus loin encore les conséquences de notre image. Voyons d'abord pourquoi les nœuds du système Δ correspondent aux neutres du système Γ. Au moment où l'excitateur E (fig. 27) reçoit une charge, par exemple positive, l'orientation se développera sur la longueur $\frac{\lambda}{2}$ correspondant au temps de la charge; cette orientation correspond au système Γ; elle fournit la représentation du courant. Un instant après, nous obtiendrons l'orientation a'.

Mais *entre les deux phases* correspondant à la production de ces deux demi-longueurs d'onde il a dû nécessairement s'en produire une troisième, car, en passant du plus au moins, l'étincelle a jailli; il s'est donc produit un courant dirigé suivant la flèche f, c'est-à-dire par induction vers la disposition b. Or cette action a atteint précisément son maximum d'intensité au moment où la première s'annule. Donc les nœuds du système Δ correspondront aux ventres du système Γ.

Examinons maintenant d'une manière toute spéciale le système Δ, car il va nous fournir des renseignements précieux sur la constitution de l'éther. Ce système dynamique se comporte au point de vue de la réfraction absolument comme la lumière; nous pourrons donc sans trop nous hasarder conclure ici à l'identité.

Or les fils f, f' (fig. 28) étant placés parallèlement, nous voyons que les ions α, β sont reliés par des tourbillons d'éther de premier ordre. (S'il n'y avait qu'un fil, le tourbillon serait encore normal et les choses se passeraient du reste de la même manière.) Les choses se passent comme si les fils étaient réunis par une infinité de filaments élastiques soumis alternativement à des efforts de traction dans deux sens opposés.

Comme un semblable système ondulatoire est lui-même susceptible de se propager dans le vide, on doit admettre que l'éther est également constitué par une infinité de filaments tourbillonnants élastiques de longueur indéfinie, possédant toutes les orientations possibles, capables de transmettre toutes les actions à distance.

Nous voilà ainsi amené par une méthode bien différente à la

conception d'un éther *gyrostatique* ou *adynamique* analogue à celui de W. Thomson, lequel en pénétrant la matière nous donne immédiatement l'image de l'*atome-tourbillon* de Helmholtz : ce que ce physicien appelle *ligne-tourbillon* n'est autre chose que l'axe d'une *chaîne ionique* correspondant au courant, lequel axe est occupé par notre filament tourbillonnant de l'éther gyrostatique. Lorsque les ions accélèrent leurs mouvements de rotation, ils s'écartent; ce qui se traduit par un allongement du conducteur dans le sens du courant. En effet, si la tension électrique s'accroît, c'est-à-dire si le rayon de l'électron diminue, l'invariabilité de l'énergie du mouvement de celui-ci exige un accroissement de vitesse angulaire. Nous retrouvons ainsi l'image du *tube-tourbillon* de Helmholtz, dont la section est inversement proportionnelle à la vitesse instantanée de rotation, ou encore, d'après notre conception, inversement proportionnelle au potentiel électrique.

Si enfin le *tube-tourbillon* ou notre *chaîne ionique* se ferme comme un anneau, nous retrouvons la conception des *atomes-vertex* de W. Thomson, qui correspondent à des courants fermés.

Nous nous occuperons des propriétés remarquables des chaînes ouvertes et fermées dans le chapitre suivant.

Si nous considérons les ions placés à la limite des fils dans le système Δ (fig. 29), nous voyons que le mouvement oscillatoire peut se transmettre aux fibres normales f de l'éther libre; celles-ci seront sollicitées par des tractions qui s'exécuteront alternativement et longitudinalement dans deux sens opposés, de manière à nous donner l'image de la propagation transversale de la lumière.

Ce mécanisme est, du reste, identique, mais singulièrement renforcé lors de la production de l'étincelle.

Supposons qu'au lieu du vide supposé entre les fils f, f' (fig. 28) on vienne à interposer un diélectrique. Dans ces conditions, l'énergie mise en jeu ne sera pas seulement employée à déterminer l'oscillation des électrons α, β et de l'éther du vide, mais encore à déterminer l'oscillation des électrons du diélec-

trique interposé. En un mot, il y a accroissement de la masse d'éther mise en mouvement, d'où diminution de vitesse de propagation. Nous reviendrons plus tard sur cette particularité qui correspond à une relation remarquable de Maxwell.

Le mode de propagation Δ correspond en réalité au mode de propagation dans le vide. Comme on le voit, il a une tendance à suivre les conducteurs, ce qui rend possible la propagation de l'onde à la surface de notre globe. Il serait intéressant de rechercher si des rayons lumineux très rasants n'ont pas une tendance à suivre des surfaces conductrices.

Nous pourrons encore obtenir le même résultat à l'aide d'un fil présentant l'oscillation Γ. Dans ces conditions, l'ion vibrant α (fig. 30) pourra encore transmettre normalement au fil des oscillations de même espèce. Nous verrons plus loin comment on peut montrer l'existence de ces oscillations.

Reprenons maintenant le système Δ et remarquons que la polarité positive correspond à un accroissement de pression de l'éther, l'orientation négative à une dépression; chaque ion étant symétrique, il produira dans un sens une compression de l'éther, mais qui compensera exactement la dépression produite en sens contraire. Une série d'ions α, α' (fig. 31) de signes alternants, ou, ce qui reviendrait au même dans ce cas-ci, simplement en mouvement dans un sens déterminé, produira les condensations et les dépressions c, d qui fourniront l'image de la propagation du son.

Si le courant est ouvert, ce système ondulatoire longitudinal pourra se propager dans l'espace; si le courant est fermé, il restera localisé dans le circuit lui-même. Nous verrons plus loin tout le parti que l'on peut tirer de cette considération.

Oscillations électriques développées à la surface des conducteurs. — Nous avons vu que l'électrisation par frottement était accompagnée d'une vibration de l'électron positif ou négatif. Nous avons également vu que c'étaient ces vibrations qui provoquaient la projection des ions. Nous pouvons ajouter maintenant que ces vibrations développent également dans l'éther des vibrations harmoniques positives ou négatives capables de provoquer la luminescence de tubes renfermant de l'air raréfié.

Il est facile de montrer que cette luminescence n'est pas le résultat de l'induction électrostatique due au mouvement de déplacement des ions. En effet, il suffit de placer une lame diélectrique *d* (fig. 32) en contact avec le conducteur *c* pour empêcher cette action inductrice, ainsi que nous l'avons dit, alors que la luminescence du tube se produit indifféremment, que la lame diélectrique soit mise en usage ou non.

On remarque encore que certaines parties de l'espace correspondant à des ventres sont plus aptes à provoquer la luminescence que d'autres qui correspondent à des nœuds.

Ces harmoniques se produisent avec une grande intensité si l'on relie l'un des pôles d'une bobine d'induction activée par un interrupteur de Whénelt avec une toile métallique à grosses mailles.

Un tube à air raréfié s'illumine fortement dans son voisinage, et si l'on examine celui-ci au miroir tournant, on remarque que chaque charge positive donne lieu à une série d'oscillations harmoniques et qu'il en est de même de chaque charge négative communiquée au système. On constate également que le phénomène est accru si les fils possèdent des diamètres suffisants pour éviter la production d'aigrettes.

Enfin, l'illumination du tube se produit sur toute sa longueur et avec la plus grande intensité, lorsqu'il est disposé parallèlement au conducteur, ce qui indique bien que nous avons affaire à l'induction produite par le système Γ dont nous avons parlé plus haut.

CHAPITRE III.

La radioactivité et l'infra-électricité.

---

§ 1. — *Définition de la radioactivité.*

Nous désignerons sous le nom de radioactivité la faculté que possède, dans certains cas, la matière de décharger à distance les corps électrisés. En adoptant cette définition, nous dévions quelque peu le mot de son sens primitif, lequel implique l'idée d'une radiation qui intervient dans beaucoup de ces phénomènes, mais pas nécessairement.

La base du phénomène radioactif se trouve dans le fait fondamental de l'induction électrostatique qui détermine le courant. Nous avons vu que si le conducteur d'une machine à frottement, par exemple, est électrisé, il se produit pendant la marche de la machine des pulsations ioniques qui ont pour résultat de projeter les ions dans le milieu ambiant et de déterminer l'induction électrostatique (fig. 1). Mais cette action étant terminée, ces ions se répandront dans ce milieu ambiant sans posséder aucune orientation, de telle manière qu'au delà d'une certaine distance, un conducteur ne recevra plus de charge électrique appréciable. Mais ces ions désorientés ne tarderont pas à manifester leur présence par l'action d'influence qui les sollicite, si l'on communique une charge à ce conducteur. En effet, ceux-ci subissent sous l'action du conducteur chargé une nouvelle orientation due à l'influence. Il se produira autour de celui-ci une série de courants ouverts qui ne tarderont pas à amener la décharge (fig. 2). La vitesse de décharge sera la même pour les deux électricités si la tension initiale de l'électron négatif est égale à la tension initiale de l'électron positif, et il en sera autrement si ces tensions sont inégales.

§ 2. — *Influence du raccordement du champ sur la vitesse de décharge.*

Nous voyons donc la raison pour laquelle un conducteur se décharge lorsqu'il est placé à une certaine distance d'une aigrette électrique. Le conducteur que nous avons considéré détermine, ainsi que nous le supposons implicitement, un *champ non raccordé.* Il en sera tout autrement si nous considérons un *champ raccordé.* Dans ces conditions, le tourbillon éthéré *ab* (fig. 3) qui relie l'électron positif à l'électron négatif se comporte comme un milieu impénétrable pour les ions de l'espace environnant, et dès lors l'établissement d'un courant capable de dissiper l'énergie devient impossible. Il est évident que cette action préservatrice sera d'autant plus énergique que la ligne de force sera de plus faible longueur.

Afin de réaliser l'expérience, il suffit d'interposer entre un électroscope à balles de sureau E (fig. 3), chargé par exemple positivement, et l'aigrette *e*, un cadre *c*, sur lequel sont tendus un certain nombre de fils métalliques distants de 2 ou 3 centimètres. Ceux-ci établissent le raccordement du champ et la décharge est à peu près enrayée. Mais il suffit de communiquer aux fils *f* une légère charge positive pour empêcher tout raccordement. A partir de cet instant, la décharge se produit [1].

§ 3. — *Diverses sources radioactives.*

Avant de poursuivre cet exposé, il importe de remarquer que presque tous les foyers d'ébranlement de l'éther jouissent de la même propriété que l'aigrette, de développer dans le milieu environnant la production d'ions libres ; il en est ainsi de l'étincelle, de flammes et, en général, comme l'a montré le Dr Gustave le Bon, de toutes les combinaisons chimiques. Lorsque des

[1] *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* 1898, 3e sér., t. XXXV, pp. 188-191.

vibrations éthérées très rapides, telles que celles qui correspondent aux rayons lumineux ou aux rayons Röntgen, rencontrent la matière, le même phénomène se produit. C'est par l'observation de cette action de la lumière que le Dr Gustave le Bon eut le premier la perception que l'on se trouvait en face d'un nouvel ordre de phénomènes naturels. Becquerel découvrit vers la même époque que les composés de l'uranium semblent produire spontanément ce phénomène; M. et Mme Curie découvrirent des substances plus actives encore. Ici encore le Dr Gustave le Bon montre toute la généralité du phénomène, qui se rencontre à un très faible degré pour un grand nombre de métaux.

Ainsi que nous l'avons vu, si l'on place un objet dans la direction de l'aigrette, celui-ci s'électrise par induction électrostatique, cette charge ne pouvant du reste pas dépasser une certaine limite par suite de l'action de décharge que nous venons d'examiner et qui contrebalance le premier effet. Les foyers radioactifs dont nous venons de parler ne déterminent que des actions électriques faibles ou inappréciables, soit parce que la tension électronique est faible lors de leur émission, soit parce que ceux-ci ont été émis sans orientation préalable.

§ 4. — *L'infra-électricité.*

Il résulte de ce que nous venons de dire que les ions constituent par leur ensemble *un gaz de nature particulière*, capable de décharger les corps électrisés. L'air renfermant ce gaz particulier peut être conduit par des tuyaux à distance, ainsi que le montre une expérience de Branly. Mais il est aisé d'enlever à l'air cette propriété de décharger les corps électrisés. Considérons, en effet, une cage en plomb *c* (fig. 4), dans laquelle se trouve un électroscope chargé E. Cette cage est munie d'un tube T de même métal, à l'extrémité duquel est adapté un tube *t* amenant l'air d'une soufflerie. Des étincelles jaillissent entre les électrodes *e*, afin de déterminer l'ionisation; enfin une toile

affleure avec le niveau de la poudre. Les choses se passent comme si l'on voulait montrer la propagation de la chaleur dans un gaz, alors qu'une paroi voisine serait à très basse température.

En résumé, nous pouvons conclure que lorsqu'un objet électrisé se trouve dans un milieu ionisé, les ions non seulement tendent à décharger la surface électrisée, mais soumis à l'action de l'influence ils se précipitent en masse à sa surface et constituent, par leur ensemble, un fluide élastique auquel nous avons donné le nom de *fluide infra-électrique*. Il se comporte, dans le voisinage des corps électrisés, comme le ferait une veine liquide ou gazeuse s'échappant d'une tuyère et se précipitant sur ces corps.

Il est aisé maintenant de voir que l'on pourra réaliser, à l'aide de ces projections, les mêmes figures géométriques que celles obtenues à l'aide de veines liquides s'échappant sous pression de tubes convenablement disposés et dirigés vers une surface plane.

Si l'on dirige des jets d'eau sur des lames de verre A, B, C (fig. 8), les tubes adducteurs étant disposés en t, t' ; t_1, t'_1, t''_1 ; t_2, t'_2, t''_2, t'''_2, on voit se former des lignes droites à la rencontre des lames liquides dirigées en sens inverse, comme la figure l'indique.

Afin de réaliser l'expérience avec le fluide infra-électrique, il suffit de placer autour d'un plateau P de résine, préalablement électrisé par friction à l'aide d'un conducteur d'une machine électrostatique, des foyers ionisants, par exemple des becs de Bunsen, ou des pointes métalliques mises en communication avec l'un des pôles d'une bobine, de préférence avec le pôle négatif.

Dans ces conditions, les ions ne possèdent pas seulement la faculté de décharger plus ou moins le plateau, mais le fluide qu'ils constituent, par son inertie, ne tarde pas à refouler les ions électrisés de la surface de manière à les répartir sur des droites de faible épaisseur. Après quelques instants de pose, on saupoudre le plateau avec de la poudre de soufre et l'on obtient les figures A, B ou C, suivant le nombre de foyers dont on a fait usage.

Le même résultat s'obtient à l'aide de poudres radioactives que l'on peut déposer en petits tas sur le plateau de résine. Seulement, le temps de pose nécessaire, au lieu d'être d'une fraction de minute, peut atteindre 15′ et au delà.

Si maintenant on dirige perpendiculairement à un plan une série de jets d'eau, la figure réalisée par la rencontre des lames liquides dépendra de la disposition géométrique de ceux-ci. S'ils sont disposés en carrés, on obtient des carrés ; s'ils le sont en triangles ou en quinconces, des hexagones; s'ils le sont en hexagones, des triangles.

Ces figures s'obtiennent avec la plus grande facilité à l'aide des projections ioniques dues à l'action attractive de l'influence. Il suffit de disposer pendant quelques instants au-dessus du plateau de résine électrisé un plateau à double paroi, dans lequel on introduit du gaz d'éclairage, et de pratiquer dans celui-ci des ouvertures qui correspondent aux sommets des figures géométriques dont nous avons parlé et qui représentent autant de flammes projetantes. (Voir photogramme III.)

Les carrés avaient 10 centimètres de côté.

Si l'on vient à électriser deux parties séparées *a* et *b* d'un plateau de résine P (fig. 9) et à placer pendant quelques instants une pointe *p* au-dessus du plateau, l'aigrette développée par celle-ci déterminera la production du fluide *infra-électrique*, lequel viendra frapper et s'étendre sur le plateau ; les points d'impacte correspondent nécessairement aux centres de gravité des surfaces électrisées. Il en résulte que l'on obtient, après avoir couvert légèrement de poudre de soufre, les apparences représentées en *a* et en *b* simultanément et à l'aide d'une seule pointe *p*.

Au lieu de placer la pointe au-dessus du plateau, il est plus commode de disposer, avant la coulée de la résine, un morceau d'ébonite *e* traversant la feuille de carton *c* (fig. 10) et percé d'une ouverture permettant le passage d'une pointe *p*, laquelle peut à volonté être isolée ou mise en communication avec le sol.

Afin d'opérer, la pointe étant isolée, on la recouvre d'un petit godet métallique *g*, puis on électrise à l'aide d'un conducteur mobile mis en communication avec une machine électrique et

tenu par un manche isolant. On exécute des frictions circulaires à l'intérieur d'un cercle *c*, puis, l'électrisation terminée, on met la pointe à la terre, on enlève le godet *g* (fig. 11) et l'on projette une première fois une petite quantité de poudre ; si le plateau est bien sec et bien poli, on obtient une circonférence parfaite. Mais on ne tarde pas à remarquer que des particules de soufre sont entraînées suivant une direction radiale, sous l'action du souffle ionique d'appel. Si, quelques instants après, on projette de la poudre, on obtient un deuxième cercle, et l'on réalise ainsi une série de circonférences concentriques traversées de ramifications dirigées suivant les rayons, si l'on a fait usage d'électricité positive (fig. 12).

Le fluide infra-électrique qui s'étend à l'intérieur des cercles possède une force expansive considérable. Il nous est arrivé de voir l'électricité répartie sur une ligne circulaire. Dans ces conditions, la poudre de soufre constituait un petit rempart. Cependant le fluide s'accumulait progressivement sur la surface intérieure du cercle, et à un moment donné se produisit une véritable explosion superficielle, qui eut pour résultat de projeter une partie de la poudre de soufre à plusieurs centimètres, suivant des directions radiales.

Nous avons vu que ces émissions émanant d'une source quelconque n'affectent jamais le bord de la surface électrisée, mais entament toujours cette surface par son milieu. Il en résulte que nous obtiendrons deux systèmes de circonférences, l'un qui va en s'agrandissant, l'autre beaucoup plus petit, dans le voisinage de la pointe, qui va en diminuant.

En utilisant deux pointes métalliques, disposées à 15 centimètres, on peut produire une série de figures intéressantes et qui dépendent du mode d'électrisation de la surface.

1° Si l'on électrise tout le plateau et si l'on projette plusieurs fois, à quelques instants d'intervalle, de la poudre de soufre, on obtient une série de courbes concentriques qui se forment dans l'ordre indiqué par les numéros de la figure 13.

Il est facile de voir que le fluide élastique superficiel a été émis d'abord en proportion plus grande par la pointe A que par la

pointe B; sa tension est évidemment plus grande; aussi les cercles intérieurs sont-ils plus petits en A qu'en B.

Cependant le fluide émis par A est projeté d'abord jusque dans le voisinage immédiat de B, et cela au point de donner à ses cercles intérieurs la forme elliptique qui indique nettement l'action de cette pression; la tension de ce fluide ne tarde pas à être contrebalancée par la pression du fluide émis plus lentement par B, de manière à produire la succession des traits α.

2° Si l'on électrise une ellipse α (fig. 14), on obtient la figure en forme de *8* correspondant au premier cas (fig. 15). Mais ce qu'il y a de particulièrement intéressant à constater, c'est la rapidité avec laquelle l'espace non électrisé est envahi par l'électricité et dans les conditions nécessaires pour former la figure d'équilibre.

3° On peut même aller plus loin et n'électriser que les parties α et β (fig. 16).

Afin de faire l'expérience à l'aide des ions développés dans l'atmosphère par le passage des rayons Röntgen, on réalise deux faisceaux de rayons Röntgen *a* et *b* (fig. 17) à l'aide d'un tube à rayons A, placé derrière un écran en plomb P, percé de deux ouvertures. Le plateau de résine électrisé est disposé en R, notablement en dessous des ouvertures *a*, *b*, afin d'éviter l'action des rayons directs.

Les ions libres de ces deux faisceaux attirés et projetés normalement à l'axe, ces faisceaux s'étendent sur le plateau en lames qui viennent se rencontrer et déterminent une droite parfaitement déliée en *mn*.

Les faits que nous venons d'examiner étant le résultat de l'existence d'ions libres dans l'espace qui, à un moment donné, peuvent être attirés par les corps électrisés, il est évident que le phénomène de l'ombre électrique que nous venons de montrer se produira, quelle que soit la position de la source ionisante.

Considérons le plateau de résine électrisé P (fig. 18) en projection horizontale, un écran *e* formé d'une lame métallique de 1 centimètre de largeur et la flamme d'un bec de Bunsen *f* placée en arrière.

En vertu de ce que nous avons dit, les ions placés dans l'espace E déterminent l'ombre de l'écran *e*. Nous avons désigné ce phénomène sous le nom d'*ombre rétrograde*.

Si nous plaçons le plateau électrisé en P (fig. 19), un tube à rayons Röntgen en T, une partie de ces rayons traverseront le plateau P et déchargeront celui-ci; mais la surface correspondant à l'écran *e* sera protégée par suite de la stabilité du champ raccordé et nous obtiendrons une ombre irrégulièrement tracée, par suite de l'inégale répartition de l'électricité sur le plateau.

On peut encore montrer, à l'aide de ces expériences, l'action préservatrice du champ électrostatique raccordé. A cet effet, nous avons disposé sur un plateau de résine un gros fil métallique incliné *af* (fig. 20); en *f* se trouve la flamme très petite d'un chalumeau à gaz, dirigée suivant le sens de la tige. On remarque dans ces conditions que les électrons *ab*, étant reliés par influence aux tourbillons de *af*, possèdent une position stable. Il en résulte que la tige *af* détermine une ombre rectiligne en *ab*.

On peut encore faire l'expérience suivante : Disposons au-dessus d'un plateau allongé de résine un dard de chalumeau *d* (fig. 21) placé horizontalement; en *e* se trouve un gros fil métallique faisant écran; la partie *a*, *b* constituera la partie préservée, mais, d'autre part, la lame infra-électrique produite en A aura pour résultat de faire glisser les tourbillons suivant une direction *m*, alors que la pression produite en *m'* en sens contraire, est plus faible. Il résulte de cette circonstance un déplacement de l'ombre dans la direction *m*, lequel sera d'autant plus accentué que le temps de pose aura été plus long. Nous avons remarqué une déviation de l'ombre vers le point B de 61 millimètres pour une pose de 30″; pour une pose d'une minute, cette déviation atteint 82 millimètres.

Points d'émission de la flamme. — Afin de nous rendre compte de la position des points d'émission de la flamme, nous nous sommes servi d'un dard de chalumeau disposé à côté du plateau électrisé P (fig. 22). Perpendiculairement à ce plateau est placé un gros fil métallique *a*. La direction de l'ombre *t* que l'on obtient dans ces conditions indique la direction de la résultante

des actions des projections ioniques qui émanent de la flamme. Ces expériences indiquent que le cône bleu *b* est peu efficace. Les projections émanent surtout de la partie rosée *r*.

M. Weber, en répétant nos expériences, a eu l'ingénieuse idée de se demander si le souffle d'un gaz sortant d'une tuyère ne modifiait pas la forme de ces figures (1). Ce physicien a effectivement constaté une déformation, mais il est difficile de se rendre compte, d'après ce travail, si le souffle sortant de la tuyère n'agit pas directement sur l'électricité répandue sur le plateau, ou bien si ce souffle agit uniquement, dans le milieu ambiant, sur l'émanation qui détermine la production de la figure.

Afin de nous assurer si le souffle d'un gaz n'atteignant pas le plateau de résine électrisé était capable de déformer les figures géométriques, nous avons exécuté les expériences suivantes : en P (fig. 23) se trouve le plateau de résine électrisé, en *e* un petit écran métallique formé d'une lame verticale, en *t* une tuyère plate mise en communication avec un cylindre renfermant de l'anhydride carbonique (cylindres que l'on trouve dans le commerce), en *f* la flamme d'un brûleur de Bunsen, ou une pointe *placée verticalement* mise en communication avec l'un des pôles d'une forte bobine. On place la pointe verticalement, afin d'éviter l'intervention du vent électrique bien connu.

Cela étant, on remarque qu'en faisant usage de la flamme, on obtient un trait parfaitement rectiligne en trente secondes de temps, mais cette ombre disparaît complètement si pendant ce temps la tuyère a été mise en marche. *Le mouvement de l'émanation venant de la flamme a donc été troublé.*

Si nous remplaçons la flamme par l'aigrette, nous remarquons encore le trouble produit par le souffle, bien que cette émanation semble offrir une résistance plus grande à cette action que l'émanation de la flamme.

Dans ces conditions, l'émanation *e* partant de la pointe *p* (fig. 24) s'incurve sous l'action du souffle de la tuyère, ainsi que

(1) *Annalen der Physik*, 1891, t. VI, p. 96.

la figure l'indique, et au lieu d'obtenir un trait rectiligne en *o*, on obtient une ligne tout à fait irrégulière en *o'*.

La même expérience répétée avec les rayons X ne produit aucune déviation du trait.

A première vue, on serait tenté d'admettre que dans ce cas l'émanation n'est pas influencée par le souffle; cependant il n'en est rien, car si l'on détermine le souffle entre l'écran et le plateau, le résultat est le même que dans les cas précédents : on obtient la disparition de l'ombre. Il faut donc admettre que dans l'expérience de la figure 1, faite avec les rayons X, l'émanation qui produit la figure prend naissance entre la tuyère et le plateau, par suite du passage de ces rayons.

Il résulte de l'ensemble de ces expériences que l'émanation infra-électrique produite par presque tous les foyers d'ébranlement de l'éther, laquelle, en s'étalant sur un diélectrique, constitue un fluide élastique, est d'une nature plus matérielle, ou mieux, formée d'une substance moins raffinée que les rayons X. Cette émanation est absolument comparable aux rayons cathodiques; comme eux, elle se propage avec une vitesse relativement grande, car un électroscope placé à 2 mètres d'une aigrette est atteint instantanément. Comme ces rayons, cette émanation subit l'action directe d'une *substance matérielle tangible*, et, dans le cas d'une étincelle, elle émane de la cathode. M. Crookes a reconnu, après nous, que cette particularité se vérifie pour les ions émis par les substances radioactives.

Si donc nous admettons, avec presque tous les physiciens, que sous l'action des foyers d'ébranlement de l'éther il se développe une ionisation plus ou moins avancée, nous pouvons admettre que ces ions sont projetés par la source, de même que dans les tubes à vide les ions sont projetés par la cathode.

Nous voyons ainsi l'idée de Crookes se généraliser; son quatrième état de la matière, ce qu'il appelle *matière radiante*, ne représente autre chose qu'un gaz formé d'ions. Nous voyons qu'on la rencontre, non seulement dans les tubes à vide, mais aussi disséminée dans les gaz sous la pression normale.

§ 5. — *L'asymétrie des pôles.*

Si l'on vient à électriser un plateau de résine par frictions à l'aide d'un conducteur électrisé négativement et si ensuite on effectue ces mêmes frictions à l'aide d'un conducteur chargé positivement, les deux électricités se recombinent et finalement le plateau est chargé positivement.

Mais les choses se passent tout autrement si l'on électrise d'abord le plateau positivement.

Si, dans ces conditions, on effectue une friction à l'aide d'un conducteur chargé négativement, la reconstitution n'a plus lieu; chaque point chargé négativement devient un foyer d'émission infra-électrique, qui, en s'étendant sur la surface, refoule l'électricité positive comme le ferait le fluide émis par une flamme, une aigrette ou un tube à rayons X.

Nous avons même réussi à déterminer une ligne médiane comparable à celle que l'on peut obtenir à l'aide de ces sources.

A cet effet, nous nous sommes servi d'un plateau en résine A (fig. 25), mesurant 30 × 35 centimètres.

Une zone relativement étroite *ab* était chargée positivement à l'aide d'un conducteur relié à l'un des pôles d'une machine de Holtz et tenu à la main par un manche isolant.

Un deuxième conducteur, présentant la forme figure 26, était ensuite mis en communication avec le pôle négatif de la machine, et l'on effectuait une friction suivant la direction $\alpha\beta$ (fig. 25). La distance des deux petites sphères était inférieure à la largeur *ab* électrisée positivement (environ 45 millimètres).

En couvrant légèrement de poudre de soufre, on remarque d'abord qu'une certaine quantité d'électricité positive a été projetée à droite et à gauche, alors qu'en γ (fig. 26) on obtient une ligne médiane.

L'image a l'aspect général représenté figure 27. (Voir le photogramme III.)

Un phénomène du même ordre a été constaté en observant la propagation d'un courant télégraphique se propageant par un

fil conducteur en partie recouvert d'oxyde de cuivre CuO. La partie CB (fig. 28) étant recouverte de CuO, AC étant dénudé, on remarque que le courant dirigé de A vers B se propage avec facilité. En effet, l'électron + α de la substance conductrice neutralise aisément l'électron négatif γ du diélectrique, de même que dans notre expérience.

Mais si α est — et γ +, la neutralisation, ainsi que nous l'avons vu, se fait beaucoup plus difficilement et dès lors la propagation du courant est enrayée, au moins en partie.

En résumé, un *conducteur* portant une charge positive se neutralise plus facilement sous l'action d'un *diélectrique* électrisé négativement que si l'on suppose le conducteur négatif et le diélectrique positif. Ce dernier peut du reste être supposé ionisé, ainsi que cela se produit nécessairement pendant l'action de la décharge.

Ce fait présente le plus haut intérêt, car il constitue la base de l'interprétation des curieux phénomènes que l'on observe dans l'électrolyse et dans les tubes à vide. Les ions du *conducteur* cathodique sont neutralisés avec une difficulté beaucoup plus grande par les ions orientés du milieu ambiant que le pôle de nom contraire. L'énergie de mouvements ou le nombre de rencontres des ions, pour obtenir le même résultat, doit donc être beaucoup plus grand à la cathode. Ces ions en excès, ne pouvant rétrograder vers l'anode, pourront constituer des projections ioniques particulièrement intenses à ce pôle, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer. Ce sont également ces projections qui, comme nous le verrons, sont l'origine des rayons cathodiques.

Courants produits dans les milieux gazeux. — Si donc nous considérons la production du courant dans un milieu gazeux, il faudra, pour établir la compensation, amener à la cathode un nombre d'ions beaucoup plus grand qu'à l'anode, c'est-à-dire développer à l'anode un transport ionique particulièrement intense vers la cathode. Mais ceux-ci, se trouvant maintenant en ce point, ne peuvent en totalité rétrograder vers l'anode où ils se trouveraient en excès. Dès lors, deux hypothèses sont possibles : ou bien ces ions se fixeront à la cathode, ou bien ils ne s'y fixe-

ront pas; alors ils constitueront les projections dites cathodiques.

Le deuxième cas est celui de l'étincelle; c'est également le cas que nous examinerons dans les tubes à vide. Le premier cas est réalisé dans l'arc électrique.

L'arc électrique. — Si l'on réunit par des fils deux morceaux de charbon taillés en pointe, aux bornes d'un producteur de courant, on remarque une vive lumière si, après avoir mis ces charbons en contact, on les écarte légèrement.

En effet, par suite de la température élevée produite au contact très résistant, il s'est produit non seulement une évaporation, mais aussi une ionisation du gaz compris entre les charbons qui dès lors devient conducteur, mais dont la résistance est cependant suffisante pour déterminer une température que l'on estime à 3 500°.

Or, d'après ce que nous avons vu plus haut, il doit se produire un transport d'ions du pôle positif vers le pôle négatif beaucoup plus abondant que le transport en sens contraire. D'où il résulte que le charbon cathodique s'allonge en forme de pointe, alors que le charbon anodique se creuse et présente la forme d'un cratère. On remarque également que l'arc électrique est le siège d'une force contre-électromotrice ayant la même origine que la polarisation électrolytique dont nous nous occuperons plus loin.

Point d'émission de l'étincelle électrique. — Nous nous sommes servi du même procédé que pour la flamme. Les deux pôles d'un excitateur réunis à une machine de Holtz et l'aiguille *a* formaient un triangle équilatéral de 7 à 8 centimètres de côté (fig. 29). L'expérience montre que les projections émanent de la cathode.

Nous retrouvons donc le même excès d'ions à la cathode, mais au lieu de se fixer comme dans l'arc, ils sont projetés dans l'espace et provoquent une émanation infra-électrique.

Dans la décharge oscillante, l'émission paraît émaner de tous les points de l'étincelle.

Le phénomène Edison. — Ce phénomène est encore un corollaire du même principe. Si l'on place une lame métallique *p* à l'intérieur d'une lampe à incandescence alimentée par un

courant continu et que l'on relie intérieurement cette lame à l'extrémité positive A du filament par un circuit renfermant un galvanomètre, on observe un courant dirigé du filament à la lame.

Dans cette expérience, le filament joue le rôle du diélectrique. Il en résulte, comme nous l'avons vu, l'existence d'un excès d'ions α (fig. 30) à la cathode, qui, ne pouvant rétrograder, sont mis en liberté et constituent une espèce de rayon cathodique qui relie la cathode C à la plaque p, de manière à réaliser le courant dans le sens nominal de la flèche f.

On remarque que l'intensité du courant, c'est-à-dire la force électromotrice croît avec la surface de la plaque p, mais pas proportionnellement, ainsi que nous l'avons fait observer dans le paragraphe de l'induction électrostatique.

CHAPITRE IV.

Les rayons dits cathodiques et l'électrolyse.

---

§ 1. — *Nature des rayons cathodiques.*

Nous avons examiné jusqu'à présent les phénomènes produits par les ions libres disséminés dans l'atmosphère, attirés par les corps électrisés, produisant ainsi des courants ouverts et le fluide infra-électrique lorsqu'ils rencontrent les surfaces électrisées.

Nous avons vu que l'induction électrostatique était le résultat de la projection d'ions possédant une tension électronique. Ces projections au moment du départ de la source peuvent se comporter à certains égards comme une radiation proprement dite, se transmettre en ligne droite et déterminer sur leur parcours des actions photographiques et électriques, traverser les métaux et subir, dans certains cas, des actions de l'aimant.

H. Becquerel découvrit que les sels d'uranium jouissaient de la propriété d'émettre spontanément des effluves de cette espèce, capables de traverser les corps opaques et les métaux, notamment l'aluminium. Mais il crut d'abord qu'il se trouvait en face d'un phénomène appartenant à l'ordre de ceux qui furent découverts par Niepce de Saint-Victor, en un mot, qu'il s'agissait d'une espèce de lumière emmagasinée, se polarisant comme la lumière proprement dite. Le Dr Gustave le Bon reconnut qu'il s'agissait d'un ordre de phénomènes nouveaux qu'il avait déjà pressenti, et montra que la polarisation n'existait pas.

Nous nous trouvons maintenant en présence de projections d'ions, lesquelles peuvent présenter la *forme* correspondant au courant. S'il en est ainsi, ces émanations seront déviées par l'aimant, phénomène qui fut reconnu par H. Becquerel en examinant les traces photographiques obtenues par ces émanations

lorsqu'elles sont soumises à un champ magnétique. Si ces projections présentent une autre *forme,* il n'y aura pas déviation. Il en sera également ainsi pour des radiations proprement dites, de forme particulière et se produisant dans l'éther, que nous examinerons plus loin. La vitesse de projection, la dimension et la tension électronique, ainsi que l'ordre ou la forme de ces projections, pourront varier. On peut donc concevoir des variétés en nombre infini de ces manifestations.

Les substances radioactives découvertes par Becquerel, ainsi que par M. et Mme Curie, émettant spontanément des ions, sont entièrement comparables aux corps volatils qui émettent spontanément des molécules; il s'agit, en un mot, d'une évaporation à l'état d'ions. Cette évaporation est du reste l'apanage de presque tous les métaux, ainsi que cela a été démontré par le Dr Gustave le Bon. Comme nous l'avons dit, si ces projections se produisent dans l'ordre voulu, elles représentent un courant en partie simple, déviable par l'aimant, déviation qui pourra varier avec la vitesse des ions et leur tension électronique. La force de pénétration dépendra de la forme, de la masse et de la vitesse des ions.

Des manifestations de cet ordre se produisent d'une manière particulièrement remarquable dans les tubes à vide.

§ 2. — *Forme du courant rendue directement visible. Cause de la production des rayons cathodiques. Propriétés diverses.*

Lorsqu'un gaz est fortement raréfié, ses éléments se décomposent en ions, c'est-à-dire qu'il devient iodynamique et conducteur de l'électricité, et, ainsi que nous l'avons vu, il transmet alors le courant de manière à rendre sa *forme* appréciable, sous l'apparence de stries alternativement obscures et brillantes.

Mais si le chemin de libre parcours des ions atteint toute la longueur du tube, on remarque que la cathode, au lieu de condenser les ions en excès, comme dans les phénomènes de l'arc, les projette à peu près normalement à la surface cathodique que

nous pouvons supposer plane, de manière à constituer un système de projections rectilignes que l'on désigne sous le nom de rayons cathodiques. Telle est l'expérience qui a été réalisée par Hittorf et par Crookes.

Ces projections ont la faculté de rendre la surface anticathodique du verre luminescente, de déterminer sur ce dernier des ombres parfaitement définies, si l'on vient à intercepter un écran, et sont capables de déterminer la rotation de moulinets convenablement disposés sur leur parcours, ainsi que cela se passe pour une roue hydraulique, montée sur un cours d'eau.

Ces projections, qui, par leur ensemble, constituent un véritable courant en partie simple, sont susceptibles d'être déviées par l'aimant.

Lénard, ayant repris ces expériences, reconnut que si la surface anticathodique est formée d'une lame d'aluminium très mince, les ions sont capables de la traverser. Après leur sortie, ils se diffusent d'autant plus dans le milieu ambiant que la pression est plus élevée et conservent, en dehors de cette particularité, leurs propriétés primitives.

Nous allons examiner maintenant d'une manière plus détaillée la succession des phénomènes qui ont été observés dans les tubes à vide.

Rappelons encore qu'un tube à stries représente l'*image théorique d'un courant* dont les espaces sombres correspondent aux espaces de libre parcours des ions, les parties brillantes aux espaces occupés par les molécules iodynamiques. Nous avons également constaté, *par l'observation* au miroir tournant, que cette apparence striée, bien loin d'être le résultat d'un mouvement oscillatoire du courant, ne se produit que si, par un procédé quelconque, on fait passer l'énergie électrique *d'une manière continue* dans le tube. *C'est le courant normal.* Si l'énergie est transmise trop rapidement, les éléments n'ont pas le temps de prendre l'arrangement strié régulier et la décharge est diffuse.

Le tube à vide dont nous avons fait usage présente la forme bien connue (fig. 1); le tube *t* avait un diamètre de 3 à 4 millimètres, largeur favorable à l'observation des stratifications.

La continuité ou la discontinuité de la décharge était observée à l'aide d'un miroir tournant à quatre faces faisant environ deux tours à la seconde et dont l'axe de rotation est disposé parallèlement au tube.

a) Nous avons fait usage d'abord d'une forte bobine d'induction activée par un interrupteur à main, de manière à pouvoir nous rendre compte de l'effet produit par chaque décharge de fermeture ou de rupture considérée isolément. Nous avons remarqué que, dans ces conditions, chaque décharge déterminait une illumination stratifiée du tube. Celle-ci, examinée au miroir tournant, déterminait une longue bande lumineuse, divisée par des lignes qui correspondaient aux stratifications (fig. 2).

A côté de ces strates en apparence continues se trouvaient fréquemment deux ou trois images du tube *a*, *b*, indiquant des illuminations instantanées.

b) Nous avons fait usage de l'interrupteur de Whenelt, fournissant des interruptions extrêmement rapides. Les strates examinés au miroir tournant ont fourni *pour chaque décharge* deux ou trois images des tubes fort élargies *m*, *n* (fig. 3), fréquemment accompagnées d'images (*a*) non élargies et non stratifiées du tube, correspondant à des illuminations instantanées.

c) Chacun des pôles de la bobine (interrupteur à main) était mis en communication avec trois toiles métalliques séparées par deux lames de verre *o* et *o'* (fig. 4), lesquelles, se comportant vis-à-vis de l'énergie électrique comme de véritables ressorts, déterminaient à chaque décharge une série d'oscillations.

Le miroir tournant indiquait dans ces conditions que *chaque décharge* de la bobine fournissait une série de décharges alternantes, les unes instantanées et non stratifiées, les autres élargies et stratifiées (fig. 5). L'alternance se reconnaissait aisément à l'illumination des petites sphères qui se produisait tantôt à la partie supérieure, tantôt à la partie inférieure du tube, ainsi que l'indique la figure 5.

d) En portant à cinq le nombre des glaces et à six le nombre des toiles métalliques, chaque interruption de la bobine (interrupteur à main) détermine une série de décharges instantanées

et toute trace de stratification disparaît. Le miroir tournant nous en offre l'image (fig. 6), c'est-à-dire que chaque interruption de la bobine fournit deux ou trois décharges exécutées dans un sens et deux ou trois décharges exécutées en sens opposé.

e) En utilisant l'interrupteur de Whenelt, le nombre des images est plus petit (fig. 7) à chaque interruption, mais le résultat général est le même.

f) Le tube éclairé à l'aide de l'oscillation unipolaire [1] montre deux images alternantes instantanées, avec absence de strates.

Cette expérience nous montre de plus que cette oscillation est très lente et s'amortit rapidement.

g) La machine de Holtz fournit une succession d'images instantanées très rapprochées, se traduisant par des traits lumineux. Si l'on ajoute un condensateur, ces traits sont plus éloignés. Mais, dans tous les cas, cette instantanéité détermine la disparition des strates.

h) Si l'on interpose une forte résistance (des flammes de Bunsen), les images instantanées sans strates sont fréquemment accompagnées d'images élargies du tube et stratifiées. La réapparition des strates par suite de l'interposition d'une résistance était, du reste, connue.

Deuxième série d'observations. — Cette série d'observations a été exécutée à l'aide d'un miroir unique tournant avec une vitesse de vingt tours à la seconde, soit environ une vitesse dix fois supérieure à la première.

a) Les mêmes caractères se sont maintenus. L'observation faite avec l'interrupteur Whenelt et cinq glaces interposées, et qui présentait encore de légères traces de stratifications, nous a montré le système de deux tubes à pôles alternants (fig. 7), mais qu'une grande vitesse montrait encore élargis (conséquence de la trace de stratification), bien qu'incomparablement moins larges que sans interposition de glaces. Dans ces conditions, l'image

[1] Nous avons montré précédemment que si l'on met un des pôles d'une forte bobine en communication avec une toile métallique, celle-ci émet des oscillations électriques à distance, lesquelles sont capables d'illuminer les tubes à vide.

affectait la forme d'une série de traits horizontaux, comme dans la première expérience.

b) Le tube étant éclairé à l'aide de l'oscillation unipolaire, nous montre les mêmes caractères que l'expérience précédente; les strates sont plus atténuées encore et, de même, les images de tubes élargis se montrent moins accentuées. Les deux traits fondamentaux (fig. 7) se dédoublent en un grand nombre de traits verticaux généralement déliés.

c) En portant à dix le nombre des glaces, on obtient le même résultat. Les images tendent de plus en plus à se résoudre en une série de traits verticaux.

d) C'est la machine de Holtz, sans condensateur et sans résistance, qui présente au plus haut degré une série de décharges rapides.

Le tube est absolument exempt de strates et présente au miroir tournant rapide une série de traits verticaux déliés et régulièrement espacés.

La machine de Ramsden détermine les mêmes caractères.

Examen spectroscopique. — Les caractères spectraux présentent la plus étroite analogie avec ceux qui nous sont offerts par le miroir tournant. On peut formuler cette conclusion en disant : A mesure que les décharges deviennent plus instantanées dans le tube ou, en d'autres termes, à mesure que le miroir tournant nous offre des traits verticaux de plus en plus déliés, nous assistons à la disparition des strates. Dans les mêmes conditions, nous voyons le spectre, à raies brillantes nettement définies, s'effacer progressivement pour faire place à un spectre qui présente de plus en plus les caractères d'un spectre à bandes brillantes.

La série de photographies de spectre d'un tube à hydrogène (photogramme IV) montre cette conclusion d'une manière évidente.

De plus, l'effacement des raies se produit dans l'ordre de réfrangibilité, en allant de la partie la plus réfrangible à la partie la moins réfrangible du spectre.

De même qu'une pression gazeuse *continue* appliquée conve-

nablement à un tube provoque la vibration sonore, de même une force électromotrice appliquée *avec persistance* dans un sens déterminé et sous une tension suffisante est capable de produire dans un tube à vide une série de nœuds et de ventres comparables à ceux du son.

Si, au contraire, la force électromotrice capable de vaincre la résistance du tube s'exerce d'une manière instantanée (traits lumineux déliés), l'équilibre dynamique correspondant à la production des nœuds et des ventres n'a pas le temps de s'établir et le tube présente l'aspect laiteux.

Chaque fois que le miroir tournant nous montre un tube élargi, il est accompagné de strates; s'il n'est pas sensiblement élargi, les strates sont absentes.

Il est vraisemblable que, dans les mêmes conditions, les atomes n'ont pas le temps de prendre leur état d'équilibre dynamique normal, et c'est la raison pour laquelle le spectre continu ou à bandes tend à se substituer au spectre à raies.

En résumé : 1° *l'élargissement du tube dans le miroir tournant, c'est-à-dire l'accroissement du temps de la décharge;* 2° *l'apparition des strates;* 3° *la disparition du spectre à bandes pour faire place à un spectre à raies nettement accentuées, sont des phénomènes connexes.*

Si donc nous nous plaçons à ce point de vue, un conducteur parcouru par un courant est comparable à un tube sonore dans lequel on produit des nœuds et des ventres.

Il est également nécessaire d'observer que le pôle positif se comporte comme un foyer d'émission entièrement comparable à l'émission d'un souffle qui aurait traversé l'embouchure d'un tube sonore, alors que le pôle négatif se comporte comme un foyer d'émission comparable à un souffle ne produisant pas le phénomène du son.

Considérons une ampoule sphérique (fig. 8) dans laquelle *c* représente l'espace sombre de Crookes, L la lumière cathodique, S, S′, S″ les stries lumineuses, les flèches barbelées le sens du mouvement des ions, F l'espace sombre de Faraday.

Dans le voisinage de la cathode, l'énergie de mouvement ionique

Action d'une charge statique sur les rayons cathodiques. — L'expérience réalisée par Jaumann présente, à ce point de vue, un vif intérêt, car elle échappe à toute explication dans l'ancienne théorie.

La disposition indiquée figure 14 est introduite dans un bain d'huile et soumise à l'action de décharges oscillantes. On diminue de cette manière la *tension* des rayons, c'est-à-dire l'action attractive réciproque des ions, de manière à les rendre plus sensibles à une action extérieure. On observe, dans ces conditions, sur la surface *ab* une tache brillante intérieure, entourée d'un anneau brillant.

Jaumann a reconnu que la tache brillante intérieure correspond aux rayons cathodiques ordinaires que nous venons d'examiner, et dès lors *déviables par une charge électrostatique.* L'anneau correspond au courant qui relie la cathode à l'anode, constituée ici par la surface de verre de l'ampoule *ab.*

Les ions du courant, ainsi que nous l'avons vu, sont orientés de la même manière que les ions du rayon cathodique; mais, à l'inverse de ce qui se passe dans celui-ci, les mouvements de translation s'exécutent dans deux sens opposés (fig. 15). Il résulte de cette circonstance que les actions d'induction électrostatique produites par une charge statique se font équilibre. *L'anneau ne sera pas dévié.*

Remarquons encore que toutes les décharges ne correspondent pas à un son fondamental unique. La *tension* des rayons cathodiques pourra donc varier, d'où déviation inégale sous l'action de la charge statique et production d'un véritable spectre cathodique. Nous pouvons, à l'aide de ces rayons faiblement tendus, réaliser l'expérience qui nous a permis de démontrer l'existence de l'induction électrostatique.

Si l'on approche un corps électrisé positivement d'un autre corps, celui-ci tend à prendre une charge de même nom; le corps en mouvement tend à se déplacer en sens inverse du mouvement qu'on lui communique. *Si le deuxième corps était libre, il serait donc repoussé pendant le mouvement.* L'inverse a lieu lors de l'éloignement. C'est cette expérience *fondamentale* que

Jaumann a réalisée en approchant du rayon cathodique un bâton de verre électrisé. Pendant l'approche, le rayon est repoussé; lors de l'éloignement, il est attiré.

Cette expérience, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, n'est autre que celle que nous avons réalisée à l'aide d'une balle de sureau suspendue à un fil de cocon.

Remarquons encore que pendant l'approche du bâton de verre positif, les électrons négatifs qui déterminent la fluorescence du verre tendent à devenir positifs, d'où diminution de l'éclat de la tache. Au contraire, lorsqu'on éloigne le bâton, ils tendent à devenir plus négatifs, d'où accroissement de la fluorescence.

La deuxième expérience de Jaumann est tout aussi inexplicable que la première par l'ancienne théorie. Ayant disposé son ampoule entre les deux plateaux d'un condensateur, il a remarqué qu'au moment de la charge, il y avait une déviation momentanée des rayons du plateau positif vers le plateau négatif, et que l'inverse avait lieu lors de la décharge.

Nous avons vu que le même phénomène se produit encore en substituant au rayon cathodique une balle de sureau. Il s'agit donc ici encore d'un fait fondamental et non d'un phénomène particulier aux tubes à vide.

Action de l'aimant. — L'action de l'aimant est indépendante du sens du mouvement des ions. La déviation se produira donc tant pour le courant en partie simple (rayon cathodique) que pour le courant normal en partie double. La déviation de la tache et de l'anneau de Jaumann se produira donc simultanément sous l'action de l'aimant.

De même que pour l'action de la charge électrostatique et pour les mêmes raisons, nous pourrons obtenir un spectre étalé cathodique, ainsi que cela résulte des expériences de Birkeland.

§ 3. — *L'électrolyse.*

Si l'on substitue à un conducteur quelconque une solution électrolytique, les choses se passeront exactement de la même

manière, avec cette différence que le courant, au lieu de se faire en partie double, se fait en partie quadruple. Chaque ion portant à la fois un électron positif et un électron négatif, ces ions ne se fixeront pas aux électrodes *et il n'y aurait pas de dépôt électrolytique.* Celui-ci est encore la conséquence de l'asymétrie des pôles.

Nous avons vu que l'équilibre dynamique du courant exigeait la mise en jeu d'un nombre d'ions et par conséquent d'un nombre d'électrons plus grand à la cathode qu'à l'anode (fig. 16). Mais il existe nécessairement le même nombre d'électrons orientés à la cathode et à l'anode. Par conséquent, si nous supposons, par exemple, que deux électrons sont mis en jeu à la cathode et un électron à l'anode, *un* électron sera disponible (fig. 17) à ce pôle; il ne tardera pas à être occupé par un ion négatif ne prenant pas part au courant, si la force électromotrice est suffisante pour enrayer sa quantité de mouvement.

Il existera maintenant un ion positif en excès, lequel, en vertu du mouvement préexistant, gagnera plus ou moins facilement le pôle opposé où il se soudera. S'ils y parviennent tous, l'électrolyse sera dite normale; s'il n'en est pas ainsi, l'électrolyse sera anormale; mais le nombre d'ions acides présents au pôle positif sera nécessairement plus grand que le nombre d'ions positifs présents au pôle négatif, ce que l'expérience vérifie.

Nous voyons, dès lors, la cause de la polarisation des électrodes. Nous voyons également que cette raison s'ajoute à celle que nous avons indiquée précédemment pour expliquer le transport de matière vers le pôle négatif; les ions positifs libres, animés de plus grandes vitesses, entraînant les molécules, vont en se dirigeant dans ce sens. De plus, la contradiction entre l'observation et la théorie admise, laquelle implique un mouvement plus rapide des ions négatifs dans l'électrolyse anormale, alors que le mouvement de transport se fait en sens contraire, disparaît. Si la force électromotrice n'est pas suffisante pour fixer les ions négatifs, l'excès de la quantité de mouvement, développée au pôle positif, déterminera encore le déplacement vers la cathode.

Nous voyons que le mécanisme de l'électrolyse est le même que celui des tubes à vide. Les rayons cathodiques sont formés par les ions qui ne parviennent pas à se souder à la cathode.

Mais, dans l'électrolyse, le courant d'ions allant de l'anode vers la cathode est plus tangible et mieux utilisable que le courant développé par les ions en excès, qui s'échappent de la cathode, afin de réaliser des expériences de projection.

Tous ces effets peuvent s'observer facilement en faisant usage de solutions dans la gélatine (1).

On peut d'abord observer le transport des ions positifs vers le pôle négatif, en introduisant à la partie inférieure d'un verre à lampe une solution gélatineuse de sulfate de cuivre; lorsqu'elle est coagulée, on dispose à la partie supérieure une solution de gélatine et de sel marin (fig. 18). Deux tubes semblables sont préparés. Dans le premier, on fait passer le courant de douze éléments de Daniel; le second n'est pas soumis au courant. On observe alors, après une quinzaine de jours, que la diffusion du cuivre vers le pôle négatif est notablement plus accentuée dans le tube mis en circuit que dans l'autre.

On peut encore procéder de la manière suivante : On construit, à l'aide de lames de verre, une cuvette de forme allongée (fig. 19). On y verse d'abord une solution de sel marin et de gélatine. Lorsque celle-ci est coagulée, on découpe un parallélipipède *a b c d*, que l'on enlève, et l'on verse dans l'espace vide une solution de sulfate de cuivre et de gélatine. Lorsque le tout est solidifié, on fait passer le courant comme dans l'expérience précédente, et l'on remarque que la diffusion est plus accentuée en *bc* qu'en *ad*.

Si l'on introduit dans une cuvette en porcelaine (fig. 20) une solution de sulfate de cuivre et de gélatine sur une épaisseur de 1 centimètre environ, on remarquera que le niveau s'abaisse dans le voisinage du pôle positif et se relève dans le voisinage du pôle négatif, résultat du transport d'un pôle à l'autre.

(1) Ces solutions renfermaient 20 °/o de gélatine. La solution de NaCl renfermait 3.25 °/o de ce sel. La solution de $CuSO_4$ renfermait 14.6 °/o de $CuSO_4 + 5H_2O$.

Afin de nous rendre encore mieux compte du *souffle* anodique, nous avons introduit au fond d'une cuvette à glaces parallèles (fig. 21) une solution de gélatine et de sulfate de cuivre. Après la coagulation, elle a été recouverte d'une toile, afin d'éviter une diffusion trop rapide, puis le tout a été recouvert d'une solution de gélatine et de sel marin. On remarqua, après quelques jours, que les ions cuivre sont *soufflés* dans l'espace *ab*. La limite nettement marquée *ac* indique cette action. On remarque en *a* un plissement à la surface de la gélatine, qui indique la limite de la projection.

Le *souffle anodique*, dans le phénomène de l'électrolyse, existe donc au même titre que le souffle cathodique dans les tubes à vide et que le souffle ionique ou électronique émanant de presque tous les foyers d'ébranlement de l'éther, et dont nous avons reconnu l'existence à l'aide des figures géométriques prévues par l'hydrodynamique et déterminant notre fluide infra-électrique qui en est le résultat. Si l'anode, dans l'électrolyse, donne lieu à un phénomène semblable, nous pourrons reproduire ces mêmes figures. Il en est réellement ainsi.

Afin de réaliser l'expérience, nous avons coulé au fond d'une cuvette en verre (fig. 22) une solution de sel marin et de gélatine sous une épaisseur de 2 ou 3 centimètres; trois fils de platine, réunis entre eux et placés en triangle, plongent par une de leurs extrémités dans la gélatine ; le pôle négatif est placé en un point quelconque. Lorsque la solution est prise, on établit le courant à l'aide d'une douzaine d'éléments de Daniel. On remarque d'abord la production d'un cercle autour de chaque fil. Lorsque ces cercles sont réunis, on voit apparaître les trois droites se coupant en un point, ainsi que la figure l'indique, que l'on observe par transparence et qui s'observent également en relief à la surface d'une manière très déliée.

Les circonférences produites autour du pôle positif ne sont nullement déformées par la cathode. Mais cette dernière est influencée par l'anode. En effet, la cathode creuse dans la gélatine un enfoncement elliptique dont le grand axe est dirigé vers l'anode. *Les électrons polaires anodiques jouent donc le rôle actif.*

Le souffle anodique devant nécessairement déterminer une pression, nous devions la retrouver à l'aide de l'osmomètre. Nous avons donc disposé dans une solution de sulfate de cuivre deux osmomètres munis de membranes de vessie, ainsi que l'indique la figure 23. En faisant usage du courant d'une douzaine de Daniel, on voit, après quelques heures, la pression anodique se manifester par un relèvement du liquide dans le tube de l'osmomètre, alors que l'osmomètre négatif accuse une dépression.

Il résulte donc de ceci que l'accroissement de vitesse des ions par le voisinage immédiat des électrons polaires est dû, à l'anode, à une projection; à la cathode, à une succion.

Les accumulateurs. — Lorsqu'un certain nombre d'ions négatifs se seront condensés sur l'anode et qu'une condensation semblable se sera produite dans le sens positif sur la cathode, il suffira de relier les deux électrodes pour obtenir un courant de sens contraire.

Afin d'obtenir ce résultat de l'accumulation de l'énergie électrique dans la pratique, on se sert de lames de plomb plongées dans de l'eau acidulée d'acide sulfurique.

Les piles. — Nous avons vu, lorsque nous nous sommes occupés de l'électrisation par contact, que l'on classe les métaux dans l'ordre de leurs caractères positifs.

Le courant de la pile est le résultat de l'électrisation au contact d'un métal électro-positif avec un électrolyte. Le mécanisme est le même que celui de l'électrolyse, la polarité positive du métal étant ici la cause déterminante.

La *polarisation*, c'est-à-dire la tendance à la production d'un courant de sens contraire, se produira de la même manière.

Afin d'éviter cet inconvénient, on a construit les piles à deux liquides dont le type le plus parfait est représenté par la pile de Daniel.

Dans cette pile, le métal électro-positif est représenté par un cylindre de zinc, le liquide électrolytique par une solution diluée d'acide sulfurique. Un vase en terre poreuse renferme une solution de sulfate de cuivre, dans laquelle plonge une lame de cuivre.

Si le circuit est ouvert, les ions s'orienteront simplement par influence et il n'y aura pas production de dépôt électrolytique. Si, au contraire, le circuit est fermé, les propriétés du courant apparaîtront sous la forme indiquée pour l'électrolyse.

Les ions négatifs SO_4 se fixeront sur les ions zinc de manière à produire du sulfate de zinc neutre et de ce chef il ne pourra pas y avoir polarisation. Les ions positifs, en se déposant au pôle opposé, tendront à produire ce résultat, mais en traversant le vase poreux ils rencontrent la solution de sulfate de cuivre, s'emparent des ions SO_4 pour former de l'acide sulfurique, et les ions cuivre, dont la tension électro-positive peut être considérée comme négligeable par rapport à la tension des ions d'hydrogène, ne déterminent pas de polarisation appréciable. Le principe des autres procédés de polarisants est toujours le même.

CHAPITRE V.

Les courants à extrême fréquence ou les courants calorifiques.

---

§ 1. — *Introduction à la théorie électromagnétique du calorique.*

La matière est donc constituée de telle manière que si elle est soumise aux mouvements vibratoires du milieu éthéré qui l'environne, on voit apparaître des phénomènes calorifiques, lumineux ou électriques.

Afin de faire apparaître l'une ou l'autre de ces manifestations, il suffit de régler convenablement le temps de la vibration. Lorsque la fréquence du courant atteint celle de la vibration lumineuse ou calorifique, nous dirons qu'il y a *extrême fréquence.*

Lorsque notre organisme est traversé par des courants à très haute fréquence, il cesse de percevoir le phénomène électrique, mais il percevrait le phénomène calorifique si cette oscillation pouvait atteindre la rapidité de l'oscillation de ces rayons.

En réalité, lorsque l'énergie électrique se transforme en chaleur, en traversant un conducteur, cela veut dire que l'énergie électrique du courant continu est transformée en énergie électrique à *extrême fréquence,* le temps de l'oscillation correspondant au temps de l'oscillation calorifique.

Le courant électrique continu ou, plus exactement, les électrons polaires jouent le même rôle vis-à-vis des ions du conducteur que l'archet au déplacement continu vis-à-vis de la corde tendue, ou encore que la pression continue exercée à l'extrémité d'un tube sonore vis-à-vis de l'air qu'il renferme.

En partant de cette considération, la conception d'une ligne isotherme dans un conducteur correspond à celle d'un fil con-

ducteur parcouru par des courants à *extrême fréquence*, la température étant donnée par la loi de Joule.

Considérons un conducteur A (fig. 1) soumis à l'action d'une source de chaleur S. Toutes les tranches parallèles T, T′ à la face *ab* sont des isothermes (nous faisons abstraction de la conductibilité superficielle et du rayonnement extérieur) et, dans notre conception, représentent une série de conducteurs parcourus en tous sens par des courants à extrême fréquence et soumis à l'induction mutuelle.

Or, l'intensité moyenne du courant induit par un de ces conducteurs sur le conducteur voisin aura pour expression

$$\theta = \frac{iF}{d},$$

i représentant l'intensité du courant inducteur, F sa fréquence et d la distance de deux branches voisines.

Or, nous pouvons admettre que pour un même métal, lorsque la différence de température entre la série des tranches que l'on considère est faible, que F est constant (*),

$$\theta = i \times \mu,$$

μ étant une constante.

D'autre part, la quantité de chaleur développée dans une tranche, laquelle définira la température absolue de la tranche induite, aura pour expression

$$Q = \frac{kri^2}{425} \times \mu'.$$

Or r, représentant la résistance en fonction de la longueur et de la section du conducteur, est constant. k représente la résis-

(*) La formule de Rubens nous enseigne que les fréquences extrêmes correspondant à l'extrémité du spectre varient proportionnellement à la racine carrée de la température absolue.

tance spécifique du métal considéré. Si nous adoptons toujours les mêmes dimensions, nous pourrons poser $r = 1$, d'où

$$Q = \frac{ki^2}{425} \times \mu' = T \times \text{const.},$$

T représentant la température absolue de la tranche inductrice.

Réciproquement, la quantité de chaleur induite par la tranche subissant cette première induction aura pour expression

$$Q' = \frac{ki'^2}{425} \mu = T' \times \text{const.}$$

La quantité de chaleur qui passera de la première tranche à la deuxième sera déterminée par l'équation

$$Q - Q' = (T - T') \times \text{const.} = \frac{k(i^2 - i'^2)}{425} \mu.$$

Nous pouvons donc dire que la différence de température T—T' entre la tranche inductrice et la tranche induite est directement proportionnelle à la résistance électrique du métal (ou inversement proportionnelle à sa conductibilité) et directement proportionnelle à la différence des carrés des intensités des courants.

De même, toutes choses étant égales, cette différence de température sera directement proportionnelle à la résistance calorifique ou inversement proportionnelle à la conductibilité calorifique.

Ou, finalement, *la conductibilité calorifique et la conductibilité électrique sont des quantités proportionnelles.*

La température absolue d'une ligne isotherme est, d'autre part, comme on le sait, exprimée par la demi-force vive des éléments; nous aurons donc la relation

$$\frac{Mv^2}{2} = ri^2.$$

La masse M des éléments ou, en d'autres termes, la résistance

que ces éléments opposent au mouvement correspond donc à la résistance électrique. La vitesse des éléments correspond à l'intensité du courant. Or, si nous considérons un conducteur,

$$r = k\frac{l}{s},$$

l étant la longueur du conducteur et s sa section, et comme les actions s'exercent indifféremment suivant toutes les directions, nous pourrons poser $l = s$ ou $r = k$.

D'où

$$\frac{Mv^2}{2} = ki^2 = T \times \text{const},$$

ou

$$i = \sqrt{\frac{T}{k}},$$

ou encore

$$i = \sqrt{\frac{M}{2k}v^2};$$

et puisque $\frac{M}{k} = \text{const.}$,

$$i = v \times \text{const.},$$

Nous pourrons donc dire :

1° *L'intensité des courants a extrême fréquence est directement proportionnelle à la racine carrée du quotient de la température absolue par le coefficient de résistance.*

2° *L'intensité du courant à extrême fréquence est directement proportionnelle à la vitesse des masses mises en jeu.*

La loi de Dulong et Petit pourra s'exprimer par la relation

$$\frac{mv^2}{2} = \rho i^2 = \text{const.}$$

Le produit de la résistance atomique par le carré de l'intensité du courant à extrême fréquence est une constante.

Or, remarquons maintenant que tous les corps solides deviennent incandescents à peu près à la même température, d'où il résulte que la vitesse de vibrations v de l'électron est sensible-

ment la même pour tous les corps ; il en est par conséquent de même de la masse *m*.

Nous pouvons donc dire que la masse électronique *libre*, c'est-à-dire celle qui est susceptible d'être mise en jeu à un moment donné pour émettre ou pour absorber des radiations, est la même pour les masses désignées sous le nom de masses atomiques.

La chaleur ne représente donc pas à proprement parler le mouvement d'agitation des éléments, ainsi que cela est admis pour les gaz, mais ce mouvement d'agitation est proportionnel, pour ces corps supposés parfaits, au mouvement de vibration des électrons, lequel est lui-même proportionnel à la force électromotrice ou à la vitesse de giration.

Conclusion. — Il résulte donc de ceci que tous les métaux sont parcourus en tous sens par des courants à extrême fréquence, dont l'intensité est proportionnelle à la $\sqrt{\ }$ du coefficient de conductibilité.

S'il en est ainsi, on peut s'attendre à trouver, lors de leur application sur des organes malades, des actions physiologiques comparables à celles obtenues par les courants à *haute fréquence*.

Cette conclusion s'est présentée tout naturellement à notre pensée, alors que nous ignorions complètement la métallothérapie de Burq (1849) et du Dr Charcot.

Ces agents avaient été désignés sous le nom d'agents *aestégéogènes*. Régnard admet le développement de courants électriques ; Vigouroux, une polarité électrique ; Schiff, un effet dû à des vibrations moléculaires. On voit, d'après ce que nous venons de dire, que cette dernière interprétation est l'équivalent de la première.

Lorsqu'un métal rayonne de la chaleur, la fréquence des oscillations fournie par l'étendue du spectre est à peu près la même pour tous les métaux, $F = f(T)$. Cependant, il importe de remarquer que chaque métal est accordé plus ou moins spécialement pour certaines fréquences; c'est ainsi que les courants de l'or sont particulièrement susceptibles de vibrer à la fréquence du jaune et tamisent les oscillations de l'extrémité du spectre.

Il en résulte que le courant fourni variera non seulement en

raison directe de la $\sqrt{\ }$ du coefficient de conductibilité, mais présentera, si je puis m'exprimer ainsi, *des nuances* qui dépendront de la nature du métal.

Les actions répulsives du calorique. — Ces actions peuvent se diviser en deux classes, celles que l'on pourrait désigner sous le nom d'apparentes, et qui sont le résultat du mouvement d'agitation des éléments.

La force expansive des gaz se rattache à ce phénomène, mais elle n'exclut pas les actions attractives mutuelles. Ces dernières actions deviennent apparentes lorsqu'on détend un gaz dans le vide; il se produit alors une absorption de chaleur, ainsi que le remarque M. Van der Waals. Mais il est évident, d'autre part, que les chances de rencontre des éléments n'étant pas nulles, si ce mécanisme était seul en jeu, il en résulterait fatalement une condensation finale. D'autre part, les expériences de M. Amagat ont permis de reconnaître que cette action répulsive devient *réelle* pour de très hautes pressions; la détente détermine un dégagement de chaleur.

La matière est donc constituée de telle manière que les actions attractives des éléments deviennent répulsives du moment où le rapprochement devient suffisant.

Cela étant, prenons le cas le plus simple, celui de l'isotherme d'un corps conducteur, assimilable à un fil parcouru par un courant à *extrême fréquence*, et considérons les électrons a, b, a', b' (fig. 2); ceux-ci étant de signes alternants, *il y aura toujours attraction si l'oscillation n'existe pas.*

Mais ici intervient d'une manière bien inattendue la belle expérience des corps pulsants de Bjerckness, à l'aide de laquelle d'autres physiciens et nous-même avions cru trouver l'origine des actions électriques à distance. Impuissante à rendre compte de la multiplicité des phénomènes électriques, elle nous donne l'explication de l'action répulsive du calorique. En effet, par suite de l'action attractive des électricités de noms contraires, les électrons ne tarderont pas à s'orienter ainsi que l'indique la figure. Mais, d'autre part, en vertu de leur mouvement oscillatoire rapide, *les électrons se comportent également comme les*

corps pulsants de signes contraires de Bjerckness qui se repoussent. Il en résulte que *si le rapprochement des éléments atteint une limite, une action répulsive se substituera à l'action attractive.*

Si nous orientons les ions suivant une direction déterminée par le passage du courant, les actions répulsives se manifesteront d'une manière plus sensible suivant la direction du courant, et il y aura allongement du conducteur.

Conséquences d'un abaissement de température. — Considérons un électron A électro-positif (fig. 3) vibrant à une température T, l'amplitude de l'oscillation étant β et sa force électromotrice moyenne correspondant à l'angle α.

Si la température s'abaisse, sa tension diminuera, α deviendra α'. Les choses se passeront à peu près comme si une corde vibrante se détendait. L'amplitude β et la vitesse de vibration diminueront. Et à la limite extrême qui correspond au zéro absolu, nous aurons $\alpha = 90°$, $\beta = 0$.

Le même raisonnement s'applique à l'électron négatif.

Il est facile de voir quelles sont les conséquences que ce mécanisme entraîne.

Les ions perdront progressivement, à mesure que le refroidissement s'accentue, leur caractère électro-positif ou électro-négatif; dès lors apparaîtra l'inaptitude à la réaction chimique observée par Pictet aux basses températures.

D'autre part, les actions répulsives résultant du mouvement pulsant diminueront également, d'où absence de phénomène de dissociation.

Par suite de la diminution des actions répulsives, les électrons se rapprocheront; ils seront, dès lors, plus aptes à subir des actions d'influence mutuelles sous l'action d'électrons polaires; dès lors, la conductibilité croîtra.

Enfin, si le zéro absolu était réalisable dans l'univers, les électrons présentent la forme de disques tournants, d'où la possibilité de l'existence, à cette température, d'un gaz formé d'*ions libres,* condition qui est sensiblement réalisée dans les nébuleuses.

L'or est jaune par réflexion et vert par transparence.

Les substances aniodynamiques, diélectriques et, par conséquent, théoriquement transparentes, ne sont jamais vues par réflexion (nous faisons abstraction de la réflexion spéculaire); pour celles-ci, l'oscillation se propage en pleine matière ou s'amortit en se transformant en chaleur; il n'y a donc pas de réflexion proprement dite. Des oscillations qui n'ont pas été amorties pénètrent à une certaine profondeur, où, par suite de la non-homogénéité, elles peuvent rencontrer des faces orientées de manière à déterminer la *réflexion spéculaire*. Ces rayons reviennent donc vers la surface tout en ayant été soumis aux mêmes actions que les rayons vus par transparence.

La surface d'un diélectrique déterminant la *réflexion spéculaire* serait comparable à un mur capable de réfléchir toutes les ondulations d'un liquide. Au contraire, le mécanisme de la *réflexion métallique* serait comparable à une série de diapasons ne réfléchissant que des radiations pour lesquelles ils sont accordés.

L'introduction de la lumière ou de la chaleur rayonnante dans un milieu métallique est comparable à l'introduction d'une infinité de filaments animés de mouvements giratoires et oscillatoires dans le sens de leur longueur.

Les oscillations qui rencontrent des électrons susceptibles de vibrer à l'unisson déterminent la lumière ou la chaleur réfléchie proprement dite. Les autres filaments gyroscopiques pénètrent dans le milieu, accroissent la vitesse angulaire de rotation et de déplacement des éléments, c'est-à-dire la quantité de la chaleur.

Dans les diélectriques, le deuxième de ces phénomènes correspond aux rayons non transmis, le phénomène de la réflexion proprement dite, dans lequel la nature de la substance entre en jeu, ne se produisant jamais.

Lorsqu'un gaz, par exemple, absorbe de la chaleur, l'éther communique à ses éléments un accroissement de vitesse de rotation. Cette énergie de rotation est ensuite partiellement transformée en énergie de translation, et l'accroissement d'énergie de vibration qui résulte des chocs représente le dernier terme du

processus. Si l'oscillation se communique directement aux éléments matériels, il n'y a pas absorption, mais bien réflexion.

Si l'on reçoit les rayons réfléchis par un miroir en cuivre sur une glace dépolie, on constate la teinte rouge; il est donc rouge par réflexion. Mais si l'on opère de la même manière avec un verre rouge, il ne se produit plus de coloration; il est donc incolore par réflexion; cette réflexion est spéculaire.

Indice de réfraction et capacité. — Si l'on considère un diélectrique D (fig. 4) transmettant l'influence d'électrons polaires e, e', le mouvement giratoire de ceux-ci aura pour conséquence d'orienter les électrons des molécules du diélectrique et d'emmagasiner, dès lors, une certaine quantité d'énergie correspondant à la capacité inductive spécifique. Cette quantité d'énergie maximum qu'un diélectrique sera capable de fixer, sera proportionnelle à la masse μ des électrons.

D'autre part, considérons un rayon lumineux pénétrant dans un diélectrique parfaitement transparent.

Avant de pénétrer dans le milieu, nous aurons la relation

$$V_0 = \lambda v_0,$$

V_0 représentant la vitesse de la lumière dans le vide, λ la longueur d'onde et v_0 la vitesse des éléments d'éther normalement au sens de la propagation. Si nous représentons par m la masse de ces éléments, leur force vive sera mv_0^2.

Mais lorsque le rayon aura pénétré dans le diélectrique, l'énergie de vibration n'aura pas été modifiée, mais la masse vibrante sera maintenant représentée par la masse μ des électrons. Nous aurons donc

$$mv_0^2 = \mu v^2,$$

v représentant cette même vitesse dans le diélectrique.

Comme la longueur d'onde est restée la même, v sera proportionnel à la vitesse V de propagation dans ce milieu. D'où

$$mV_0^2 = \mu V^2.$$

Pour un autre diélectrique, nous aurons de même

$$mV_0^2 = \mu_1 V_1^2.$$

Combinant ces deux relations, il vient

$$\frac{\mu}{\mu_1} = \frac{V_1^2}{V^2} = \frac{n^2}{n_1^2},$$

n et n_1 représentant les indices de réfraction correspondants. Et si nous remarquons que les capacités que nous représenterons par k et k_1 sont proportionnelles à μ et μ_1, nous aurons finalement

$$\frac{k}{k_1} = \frac{n^2}{n_1^2},$$

c'est-à-dire la relation de Maxwell.

Ceci suppose que l'élasticité des électrons est la même que celle de l'éther libre, comme l'indique la formule de Newton.

Les recherches de Kundt montrent que dans les conducteurs, la vitesse de propagation de la lumière est inversement proportionnelle aux résistances électriques et calorifiques.

Nous avons donc la relation

$$\frac{V_1}{V} = \frac{R}{R_1}.$$

D'autre part, si nous admettons, ainsi que nous l'avons dit, que la résistance électrique représente la résistance au mouvement, c'est-à-dire la masse des électrons, nous aurons

$$\frac{R}{R_1} = \frac{\mu}{\mu_1}.$$

Ensuite, d'après la formule de Newton, nous avons

$$\frac{V_1^2}{V^2} = \frac{e_1\mu}{e\mu_1} = \frac{R^2}{R_1^2},$$

e et e_1 représentant l'élasticité, ou

$$\frac{e_1}{e} = \frac{\mu}{\mu_1},$$

et finalement

$$\frac{R}{R_1} = \frac{e_1}{e},$$

ce que l'on peut exprimer en disant que *la résistance à la propagation de l'électricité sera d'autant plus grande que l'élasticité des électrons sera plus petite.* De même que dans le phénomène de la propagation du son.

Si nous reprenons la relation

$$\frac{e_1}{e} = \frac{\mu}{\mu_1},$$

nous remarquerons que l'élasticité du milieu éthéré varie en raison inverse de la densité de l'éther. Ce milieu se comporte donc comme étant formé d'éléments exerçant les uns sur les autres des actions attractives d'autant plus grandes que la masse des éléments est elle-même plus grande, ou encore une force expansive d'autant plus grande que la masse de ces éléments est plus petite.

Cela étant, la formule de Newton

$$V = \sqrt{\frac{e}{\mu}}$$

pourra encore s'écrire

$$V = a\sqrt{\frac{1}{\mu^2}},$$

a représentant une constante, ou

$$V = \frac{a}{\mu}.$$

La vitesse de propagation du mouvement vibratoire dans le milieu éthéré varie donc en raison inverse de la densité de ce milieu.

Si nous admettons cette relation pour les diélectriques, l'équation de Maxwell, au lieu de s'écrire sous la forme

$$\frac{k}{k_1} = \frac{n^2}{n_1^2},$$

se mettra sous la forme

$$\frac{k}{k_1} = \frac{n}{n_1}.$$

La *capacité électrique* représente la quantité d'*énergie électronique ou de rotation* que la matière est susceptible d'emmagasiner. Cette quantité croîtra avec la masse des électrons mis en jeu.

La *capacité calorifique* représente la quantité d'*énergie de pulsation et de translation* que la matière est susceptible d'emmagasiner. Cette quantité dépendra à la fois de la masse des électrons et de l'énergie de dilatation absorbée par ces pulsations.

La *conductibilité calorifique* représentera la quantité d'énergie de pulsation induite de tranche en tranche; elle sera également une fonction de la masse des électrons pulsants.

Il est encore impossible, dans l'état actuel de nos connaissances, de définir le rapport exact qui doit unir ces trois ordres de grandeurs; tout ce que l'on peut affirmer, c'est qu'elles sont toutes trois fonction de la masse des électrons.

Constatons dès à présent que, de tous les liquides, c'est l'eau qui a à la fois la plus grande capacité électrique, la plus grande capacité calorifique et la plus grande conductibilité calorifique.

Il est également intéressant de remarquer que si l'on compare les divers termes de la série des alcools, on trouve pour la conductibilité et la constante diélectrique les nombres suivants, qui varient à peu près dans le même rapport :

	Constante diélectrique.	—	Conductibilité calorique.	—
Eau	85.0	1.00	0.14	1.00
Alcool méthylique. .	32.6	0.38	0.049	0.35
Alcool éthylique . .	27.0	0.31	0.049	0.35
Alcool propylique. .	22.8	0.26	0.037	0.26
Alcool amylique . .	15.9	0.18	0.034	0.24

La loi de Maxwell et les relations que nous venons d'indiquer ne peuvent présenter le caractère de précision de celle que nous avons indiquée tout d'abord.

Les grandeurs mises en jeu ne dépendent, en effet, pas seulement de la densité moyenne de l'éther ou des électrons, mais

aussi de leur disposition et de la masse de ceux-ci considérée individuellement. Ces relations nous indiquent simplement que nous sommes sur la trace de la vérité, mais beaucoup de connaissances nous manquent pour les compléter.

§ 3. — *Électrisation produite par la variation de température des cristaux.*

Nous avons vu que le diélectrique, à l'opposé du conducteur, doit être considéré comme formé par une série de molécules isolées les unes des autres et renfermant elles-mêmes des ions orientés suivant certaines directions. Si ces molécules sont elles-mêmes orientées, on obtient le cristal.

L'image d'une substance cristalline diélectrique serait ainsi représentée par la figure 5.

Remarquons d'abord que dans cet état les charges superficielles ne peuvent devenir apparentes, celles-ci se comportant absolument comme des charges *a* et *b* (fig. 6) obtenues par influence à l'aide d'un conducteur central A, portant deux charges de noms contraires. Des charges développées en *a'*, *b'* et éliminées ne renaîtront pas.

Mais si l'on vient à augmenter la température, il se produit un accroissement de tension; dès lors, il apparaîtra en *b'* une charge négative et en *a'* une charge positive. Lorsque la température s'abaisse, l'action se produira en sens contraire.

Tel est le phénomène qui se manifeste notamment pour la tourmaline.

Il résulte de cette conception de l'état cristallin que la cristallisation d'une substance aura nécessairement pour résultat de développer de l'électricité. Il en est ainsi notamment du soufre, de l'acide arsénique et d'autres substances.

Nous voyons également le parti que l'on pourra tirer de ces considérations dans l'étude de la propagation de la lumière. Le rayon extraordinaire paraît devoir ses propriétés anormales à ce que le plan de vibration correspond avec l'orientation des ions.

La réfraction normale serait donc simplement due à l'accroissement de densité de l'éther dans les milieux transparents. L'action de l'électron n'interviendrait que pour modifier les lois normales. Au contraire, la capacité électrique dépend des électrons mis en jeu. Telle est vraisemblablement la cause des nombreuses anomalies de la loi de Maxwell.

Remarquons encore que le développement d'électricité par suite d'une variation de température constitue la meilleure preuve de l'accroissement de vitesse angulaire du tourbillon, c'est-à-dire de tension électrique, lorsque la température s'élève.

Au zéro absolu, le tube tourbillon correspondant à une série ionique aura atteint son maximum de diamètre, l'orientation électrique sera réduite à zéro et il en sera de même des vibrations calorifiques correspondant aux tensions qui caractérisent les diverses températures.

CHAPITRE VI.

Oscillations de l'éther, action du champ magnétique et suite de la radioactivité.

Il est actuellement établi que la transmission des diverses radiations du spectre dans l'éther est caractérisée par des oscillations normales au sens de la propagation, de même que la vague se transmet à la surface d'un liquide. Cependant, il ne semble jamais être venu à l'esprit du physicien de se demander si la *forme* de la vague lumineuse n'est pas susceptible de variations. La vague qui déferle sur la côte n'affecte pas la même forme que la vague du large, la longueur d'onde étant du reste supposée la même. Ne peut-il en être de même pour la vague lumineuse? Depuis de nombreuses années, cette hypothèse nous avait semblé vraisemblable; elle est maintenant la conséquence de notre hypothèse sur la forme de l'ion, mais aucun fait ne se présentait à notre esprit afin de l'établir ou tout au moins afin de la corroborer, lorsque tout dernièrement un travail magistral du Dr Gustave le Bon est venu jeter une vive lueur sur l'état de la question.

Ainsi que nous l'avons admis précédemment, l'ion serait composé (dans sa conception la plus simple) d'un élément matériel rectiligne, le bâtonnet, à chacune des extrémités duquel se rencontrent les électrons; plans, si la tension est nulle; coniques, si la tension existe. Partant de cette hypothèse, il est facile de voir que la forme de la vague éthérée dépendra du potentiel de l'élément envisagé.

Considérons d'abord l'électron *a* (fig. 1) à tension moyenne nulle dont l'amplitude de l'oscillation est représentée par l'angle α. Toutes choses étant égales de part et d'autre, cet électron développera dans l'éther des oscillations transversales parfaitement régulières, comme l'indique la figure, si nous considérons une direction normale au bâtonnet. Si, au contraire, nous

considérons une direction parallèle au bâtonnet, les ondes réalisées seront longitudinales. Enfin, dans une position intermédiaire, nous réaliserons la superposition des deux systèmes. On sait que la lumière est due aux oscillations transversales, mais on ignore à quel phénomène correspondent les oscillations longitudinales.

Lorsque les ions constituent une chaîne fermée, le cas du courant fermé, où les dispositions moléculaires spéciales correspondent à la figure 2, la radiation à oscillations longitudinales O′ (fig. 1) ne peut se produire.

L'oscillation longitudinale des ions est alors, comme nous l'avons dit précédemment, utilisée à développer les actions répulsives du calorique. Si, au contraire, la chaîne est ouverte, l'oscillation O′ se développera librement dans l'éther ambiant. Tel serait le mécanisme de la production de certaines émanations développées par la radioactivité *non déviables par l'aimant.*

Par quel moyen pourra-t-on faire apparaître ces vibrations longitudinales? La première pensée qui vient à l'esprit est de s'adresser aux gaz. Mais dans leur état normal, ils ne sont pas ionisés, leurs molécules constituent des chaînes fermées. Pour voir apparaître le phénomène, il suffit de les ouvrir, de les ioniser. Le Dr Gustave le Bon a démontré par l'expérience que les gaz ionisés par la flamme émettent des radiations capables de traverser des lames d'aluminium et de décharger des corps électrisés.

Si l'on détermine le passage du courant dans un gaz raréfié et par conséquent ionisé, les ions s'orientent parallèlement les uns aux autres, la chaîne est fermée, puisqu'il en est ainsi du courant, et les oscillations transversales apparaissent seules.

Il en est ainsi dans le gaz devenu luminescent. Pour qu'il en soit autrement, il suffit de faire en sorte que le chemin moyen des ions soit supérieur à la longueur du tube. Dans ces conditions, l'électron *a* rencontrera la surface anticathodique A B, ainsi que l'indique la figure 3, et l'oscillation longitudinale se propagera librement dans l'espace E, ou suivant une direction différente après répercussion sur l'anticathode. Telle est vraisemblablement l'interprétation qu'il faut donner aux rayons X.

Cette interprétation est conforme à l'observation de M. Blondlot, qui trouve que la vitesse de propagation est égale à celle de la lumière.

Mais cette explication s'applique encore plus spécialement aux substances radioactives dont les ions libérés constituent des chaînes brisées (courants ouverts).

Lorsqu'il s'agit de la production des rayons X dans les tubes à vide, à l'action que nous venons d'indiquer il doit s'en ajouter une autre, probablement plus intense.

Nos précédents travaux tendent à montrer que le rayon cathodique est un courant en partie simple (chaîne ouverte, courant ouvert), pour lequel le chemin de libre parcours des ions correspond au moins à la distance qui sépare la cathode de l'anticathode B (fig. 4). D'autre part, nous avons montré que l'orientation positive du cône électron déterminait une compression de l'éther, que l'orientation négative déterminait une dépression. Cette remarque nous permet de reconnaître que le rayon cathodique est le siège d'une série de compressions et de dépressions de l'éther qui se succèdent rapidement par suite du mouvement des ions. En d'autres termes, nous voyons se produire dans l'éther l'analogue du phénomène du son, du sifflement du projectile dans l'air, dont l'avant est soumis à une compression, l'arrière à une dépression. Cette oscillation s'échappera de l'anticathode B, de même que le son s'échappera de l'ouverture du tube où on le produit, et il en est encore ainsi par cela que, par l'artifice mis en jeu dans les tubes à vide, *le courant est ouvert.* Si le courant était fermé, les choses se passeraient comme si l'on pouvait déterminer l'oscillation sonore dans un tube circulaire fermé. Ces oscillations ne se transmettraient pas au milieu ambiant et resteraient toujours cachées.

Nous avons supposé, dans la figure 1, que la tension de l'électron était nulle. Mais il n'en est pas toujours ainsi; il est même peu vraisemblable qu'il existe dans la nature des corps absolument neutres, dénués de tout pouvoir réactionnel. L'or, dont les combinaisons sont instables, se rapproche du type que nous avons représenté; mais des corps tels que l'aluminium, le

sodium, etc., dont les combinaisons sont très stables, possèdent des électrons dont la tension est relativement considérable.

Si nous considérons une radiation se propageant dans le sens de la flèche (fig. 5), celle-ci participera à la fois au type de l'oscillation longitudinale et au type de l'oscillation transversale.

On pourrait la considérer comme étant formée par la superposition des deux oscillations.

Une onde de cette forme participera également à la fois aux propriétés des rayons X et des rayons ordinaires.

L'une des propriétés fondamentales des rayons X consiste à décharger les conducteurs électrisés, soit en ionisant la surface du conducteur lui-même, soit en ionisant l'atmosphère ambiante. On devra donc s'attendre à retrouver ce caractère d'une manière d'autant plus marquée que le rayon se rapproche davantage de l'oscillation longitudinale, que la tension de l'électron mis en jeu est plus marquée, que l'angle β est plus petit. L'ion *or* vibrant possédera à un moindre degré que l'ion aluminium la propriété de décharge. Les combinaisons de ce dernier métal sont, en effet, bien stables, contrairement à celles de l'or.

Le Dr Gustave le Bon vient de mettre cette déduction de la théorie en évidence en faisant jaillir l'étincelle entre des électrodes d'or et d'aluminium. La composition spectroscopique et l'intensité de la lumière étant les mêmes, ce savant trouve que la décharge produite par l'or est environ trois fois plus faible que celle produite par l'aluminium.

Considérons maintenant une surface métallique soumise à l'action d'une radiation transversale, de préférence une radiation ultra-violette.

Il semble que dans ces conditions la radioactivité développée est étroitement unie au phénomène de la dispersion anormale. On sait, en effet, que les vibrations des ions soumis à la radiation ne parviennent pas à devenir aussi rapides que les vibrations du rayon lui-même. Il en résulte qu'une partie de l'énergie de celui-ci est employée à ioniser la matière et, par conséquent, à modifier la forme de l'onde en introduisant des composantes longitudinales.

Cette modification de forme pourra avoir pour effet de la rendre plus pénétrante dans les métaux, en établissant l'oscillation intermédiaire entre le rayon X et le rayon normal.

Dès 1882, M. de Chardonnet avait remarqué que l'on peut photographier l'arc électrique en quelques secondes au travers des miroirs argentés complètement opaques. Nous avons également constaté une action photographique de l'étincelle au travers de lames d'or, à peu près opaques pour la lumière, alors que cette action était incomparablement plus faible en utilisant des verres verts parfaitement transparents en apparence.

Supposons, en effet, que l'on vienne à superposer des oscillations longitudinales aux oscillations transversales, que nous représenterons toutes deux en pointillé (fig. 6). Le fluide soumis à la résultante de ces deux mouvements sera parcouru par une onde telle que celle représentée en traits pleins.

MM. Hagen et Rubens ont constaté, pendant le courant de cette année, que l'argent présentait un minimum d'absorption dans l'ultra-violet. C'est à cette circonstance que l'on doit attribuer le phénomène observé par de Chardonnet; mais pour l'or, le phénomène se passe, d'après ces physiciens, dans le vert, c'est-à-dire dans la région visible. Or, à intensité lumineuse égale, cette même région est, comme nous le disons, plus actinique lorsqu'elle a traversé une couche d'or que lorsqu'elle a traversé une lame de verre de même couleur.

Disons enfin que M. Blondlot vient de montrer que les tubes à rayons X émettent une espèce de radiation à vibrations transversales. Ces rayons traversent des milieux opaques, n'impressionnent pas les plaques photographiques, mais activent l'étincelle lorsque le plan de polarisation est perpendiculaire aux plans qui renferment la direction de l'étincelle; de plus, ils se réfractent.

En résumé, nous pouvons concevoir théoriquement le passage progressif du rayon X au rayon à oscillations transversales.

Il est également curieux de remarquer que cette dernière oscillation correspond à l'oscillation électromagnétique, alors

que la première correspond à l'oscillation électrostatique. Or M. Turpain a réalisé des oscillations de cette espèce de grande longueur d'onde, et il a remarqué que cette longueur d'onde est indépendante du milieu dans lequel on la produit. Elle ne se réfracterait donc pas de même que les rayons X.

L'ensemble des observations faites dans ces derniers temps par les physiciens ne permet plus de douter que les rayons X correspondent à des oscillations longitudinales. En effet, d'une part le fait que la vitesse de propagation est égale à la vitesse de la lumière, d'autre part l'existence du phénomène de la diffraction, nous autorisent à admettre que ce phénomène correspond à un mouvement oscillatoire de l'éther. Mais, comme le fait remarquer le Dr Gustave le Bon, cette oscillation ne correspond pas à l'oscillation lumineuse, car l'ultra-violet devient de moins en moins pénétrant à mesure qu'on s'avance dans le spectre. Nous nous trouvons maintenant en mesure de mettre en regard deux observations de la plus haute importance. MM. Haga et Wind montrent, en se basant sur le phénomène de la diffraction, que la longueur d'onde des rayons X est de l'ordre des 0.10 $\mu\mu$. Or, Schumann a reconnu que le spectre s'étend jusqu'à cette longueur d'onde, et non seulement ces rayons se réfractent, mais ils sont encore absorbables à un tel point que ce physicien s'est vu forcé de faire le vide dans le spectroscope pour les reconnaître. Ces faits sont décisifs : puisque les rayons X correspondent à des oscillations qui ne peuvent être transversales, elles sont longitudinales.

Trois hypothèses avaient été proposées afin d'interpréter les rayons X : 1° oscillations longitudinales de l'éther; 2° oscillations transversales; 3° projections de l'éther (la nôtre). C'est la première hypothèse qui prévaut; les projections ne s'appliquent qu'aux ions, c'est-à-dire aux rayons cathodiques et à leur congénères des substances radioactives.

Nous voyons que si la chaîne élémentaire est fermée (si le courant est fermé, atome vortex de Thomson), il y aura apparition de radiations lumineuses; si elle s'ouvre, une grande partie au moins de l'énergie sera employée à développer la radio-

activité. C'est là ce que nous avons reconnu dans un précédent travail. Si l'on introduit dans la flamme ou dans l'étincelle des sels qui provoquent la luminescence, la radioactivité diminue.

Puisque la lumière dans les corps luminescents est due à des courants fermés, il est facile de voir ce qui va se passer si l'on soumet ces corps à une action électromagnétique. Nous allons voir que le phénomène de Zeeman est la conséquence évidente de notre théorie.

Supposons qu'un élément soit constitué par des chaînes circulaires fermées dont les mouvements de rotation peuvent du reste indistinctement se produire dans le sens de la flèche, ou en sens contraire, ou dans un plan quelconque (fig. 7). Si ces éléments sont placés entre les pôles d'un électro-aimant, ces courants élémentaires s'orienteront parallèlement au courant aimant. Le mouvement oscillatoire des électrons constitutifs se combinera avec le mouvement de rotation du système, de telle manière que le rayon perçu normalement à la figure, c'est-à-dire suivant la direction des lignes de force, sera polarisé circulairement. Si, au contraire, le rayon est émis dans le plan de la figure, c'est-à-dire normalement aux lignes de force, le rayon sera polarisé rectilignement et la longueur d'onde sera la même que celle des rayons polarisés circulairement, ce que l'expérience démontre.

Le dédoublement des raies peut s'interpréter de la manière suivante. Lorsque l'action magnétique n'agit pas, on peut concevoir que des courants tels que celui que nous avons représenté figure 8 circulent dans tous les azimuts. Lorsque l'aimant agit, tous ces courants tendent à s'orienter dans un même plan, normalement aux lignes de force, de telle manière que le *sens nominal* de ces courants devienne parallèle au courant aimant, le *sens du mouvement des ions* pouvant s'exécuter dans l'une ou l'autre direction. Ces courants emboîtés fourniront l'image d'une série de circonférences concentriques. La figure représente deux courants concentriques de *même sens*, dont le mouvement des ions s'exécute en *sens contraires* (ce qui se passe dans le courant normal).

Nous pouvons admettre maintenant que chacun de ces cou-

miques peuvent devenir *iodynamiques* sous l'action de certaines radiations. On sait qu'il en est ainsi du sélénium, qui devient conducteur sous l'action de la lumière.

Si les ions qui s'échappent de la matière dans ces conditions sont orientés, orientation qui pourra dépendre de la forme de l'onde, nous réaliserons le courant, et la décharge de la surface supposée électrisée se produira de préférence pour un signe déterminé.

C'est ainsi que si des ions *a* (fig. 11) s'échappent de la surface *ab* supposée électrisée négativement, il y aura décharge, et il en sera de même d'une surface *a'b'* placée dans le voisinage, électrisée positivement.

Telle est l'interprétation du fait intéressant découvert par le Dr Gustave le Bon.

Si l'orientation est quelconque, deux courants se développeront en sens contraires et la décharge se produira également pour les deux électricités. Nous pouvons enfin concevoir des cas intermédiaires où la décharge se produit de préférence pour un signe déterminé.

Faisons maintenant cette remarque importante, que si l'énergie de pulsation est employée à effectuer ce travail de projection, elle ne sera nécessairement pas employée à autre chose, c'est-à-dire à faire vibrer l'éther ambiant. Or, on constate que si l'on introduit dans une flamme ou dans une étincelle des sels ou des vapeurs métalliques volatiles, ces foyers d'ébranlement de l'éther deviennent luminescents. L'énergie de vibration éthérée augmente, l'énergie de projection ionique diminue. Par conséquent, ces foyers d'ébranlement seront moins aptes à décharger les corps électrisés.

Si l'on utilise la flamme de Bunsen, l'électroscope placé dans le voisinage se décharge. Mais si, au contraire, on vient à introduire des vapeurs métalliques dans ces milieux, la projection ionique fait place au phénomène oscillatoire, aux ondes lumineuses qui apparaissent sous forme de raies parfaitement définies, et la vitesse de décharge est notablement diminuée.

Afin de réaliser l'expérience à l'aide de flammes, il suffit de

faire passer le dard du chalumeau au travers d'un tube de fer T (fig. 12); il traverse ensuite une ouverture circulaire pratiquée dans un écran en tôle de fer E. Un électroscope est placé dans le voisinage et se décharge sous l'action du dard D. Mais si l'on vient à placer dans le tube T en *s* un sel volatil, par exemple NaCl en poudre, on remarque que la vitesse de décharge est presque complètement enrayée.

Le même phénomène se produit à l'aide de l'étincelle. Si l'on fait jaillir celle-ci à la surface de l'eau pure, ainsi que cela est indiqué figure 13, la décharge de l'électroscope se produit rapidement, mais il suffit d'ajouter un sel volatil soluble, par exemple $CaCl_2$, pour voir la décharge enrayée.

Note. — Afin de réaliser les expériences avec les plateaux de résine dont nous avons parlé, il importe que ceux-ci satisfassent à deux conditions : il faut d'abord que la surface soit capable de condenser une quantité suffisante d'électricité, et il faut ensuite que celle-ci puisse glisser avec une grande facilité sur cette surface.

Le plateau ne présente pas ces conditions lorsque après avoir été soumis aux frictions d'un conducteur à haut potentiel, la figure que l'on obtient en répandant de la poudre de soufre se compose, pour l'électricité positive, d'une série de petites étoiles ramifiées plus ou moins enchevêtrées. Il faut, au contraire, que l'on obtienne une figure continue telle que celle que nous reproduisons par la photographie, et qui représente assez bien l'image d'une feuille (photogramme V). Toutes les colophanes ne satisfont pas à cette condition; mais pour les modifier, il suffit généralement d'ajouter pendant la fusion une petite quantité de goudron végétal : 20 à 50 ‰.

En coulant une série de petits plateaux d'essai, on arrive rapidement au résultat voulu.

Pl. XX.

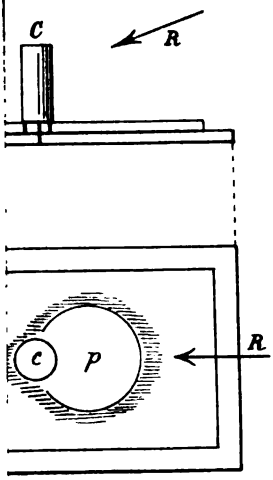
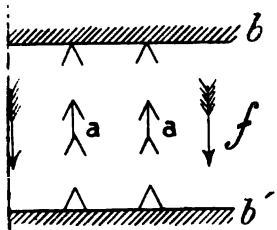


Fig. 10.



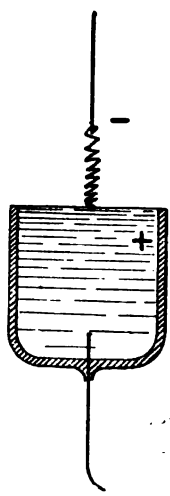


Fig. 13.

Violet.

es.

CHAPITRE VII.

Réflexions sur la constitution de la matière.

---

§ 1. — *Constitution de l'atome et de la molécule.*

Remarquons d'abord que l'examen spectroscopique et le phénomène de Zeeman nous obligent d'admettre que chaque atome est lui-même constitué par une série de courants fermés, à chacun desquels correspond une raie lumineuse lorsque le mouvement des ions ne subit pas de perturbations de la part du milieu ambiant. Lorsque ces perturbations existent, le spectre devient continu (solides et liquides).

D'autre part, malgré cette complication extrême, l'hypothèse doit tenir compte de la loi très simple des proportions définies et des proportions multiples.

Nous admettons que chaque *ion électrolytique* est constitué par un axe de rotation dont chaque extrémité est munie des électrons *a*, *b* (fig. 1), qui caractérisent la nature électro-positive ou électro-négative de la substance. Une série de courants circulaires α, β, γ, δ, formés de *sous-ions*, pivotent autour de l'axe *ab*.

Un tel ion se confond avec l'atome lorsqu'il est mono-atomique. Si, au contraire, la substance est polyatomique, les sous-ions décrivent des courbes fermées autour des ions électrolytiques supposés, par exemple, parallèles (fig. 2). Les sous-ions décriront dans l'atome A tétra-atomique, la courbe que nous indiquons autour des ions α, β, γ, δ.

Il est impossible d'avoir une image plus exacte de la foudre globulaire, affectant ici des dimensions infinitésimales, au sujet de laquelle nous renverrons le lecteur au premier chapitre. Si

donc nous pouvions déranger l'arrangement ionique qui communique à l'atome la stabilité que nous lui connaissons, la libération de l'énergie d'orientation des électrons communiquerait à la matière la *forme* de la foudre telle qu'elle se présente si un globe fulgurant vient à faire explosion.

L'atome sera donc mono-, bi-, tri-, quadri-, penta- ou hexavalent, suivant qu'il sera formé de un, de deux, de trois, de quatre, de cinq ou de six ions. Le nombre de ses ions représente sa valence maximum.

L'atome pourra être iodynamique, c'est-à-dire que ses ions peuvent être interchangeables.

L'atome des métaux qui peuvent à la fois jouer un rôle de métal et de métalloïde, tels que Bi, Sb, As, est constitué par des ions d'une part positifs, d'autre part négatifs. Lorsque ces ions se combineront, par exemple, avec le chlore, nous obtiendrons pour chacun d'eux la représentation indiquée. De même avec l'hydrogène. L'ion de carbone dans son état normal est vraisemblablement neutre (fig. 3).

Remarquons encore qu'il peut se faire que deux valences se fondent en une seule, si elles ne possèdent que deux électrons libres *a*, *b* (fig. 1) au lieu de quatre.

Si nous faisons abstraction des courants sous-ioniques, nous pourrons donc concevoir les atomes et leurs combinaisons par l'image figure 3, chaque ion électrolytique représentant une valence.

Si un ion se sépare d'un atome, ce ne sera en général (excepté lorsqu'il est destiné à rendre le milieu ambiant iodynamique; lorsque se développe la radioactivité des gaz sous l'action d'une substance radioactive, l'ion est définitivement libéré) que pour se resouder un instant après à un système semblable; en un mot, *l'atome est iodynamique.* La quantité de chaleur absorbée ou développée par une séparation est immédiatement compensée par une quantité de chaleur équivalente lorsque la soudure se reproduit.

La confusion qui a régné entre les mots *dissocié* et *iodynamisé* constitue, comme on le sait, la principale difficulté que

rencontrait la théorie d'Arrhenius, qui semblait exiger l'absorption d'une quantité de chaleur considérable.

Si nous en revenons à la radioactivité, nous pouvons nous demander si la stabilité de l'édifice atomique est absolue, particulièrement lorsque ceux-ci possèdent de grandes masses. En un mot, l'action de la force centrifuge sur les courants sous-ioniques ne peut-elle pas devenir suffisante pour qu'un certain nombre de sous-ions s'échappent? S'il en est ainsi, ils constitueront les éléments des projections radioactives, c'est-à-dire les projections cathodiques et les rayons Becquerel, qui, d'après J.-J. Thomson, sont constitués par des éléments incomparablement plus petits que les ions électrolytiques.

Grâce à leur extrême petitesse, ces ions pourront traverser des substances métalliques sous une faible épaisseur. Nous pourrons de plus concevoir une infinité d'effets différents qui résulteront de différences de vitesse, d'orientation, de tension ou de la polarité des électrons.

On peut concevoir, enfin, que tous les ébranlements favorisent cette dislocation de l'atome, tels le passage du courant ou l'action d'une radiation. Enfin, si des ions disparaissent d'une chaîne ionique, le diamètre de celle-ci diminuera. Cette diminution aura pour résultat un accroissement de vitesse angulaire, c'est-à-dire un accroissement de température, ainsi que cela a été remarqué pour le radium.

Disons, enfin, que presque tous les métaux semblent être radioactifs, ainsi que l'a observé le Dr Gustave le Bon.

Elster et Gietel trouvèrent que si l'on porte un fil de platine à l'incandescence, celui-ci se charge négativement dans l'air et positivement dans l'hydrogène; le gaz ambiant se charge de signe contraire. Ceci paraît indiquer que l'ionisation se produit dans le gaz condensé à la surface du fil, le signe dépendant du caractère électro-chimique du gaz. L'arc électrique produit des effets semblables, ainsi que le remarque J.-J. Thomson.

Nous pouvons résumer en disant qu'une substance peut être radioactive :

1° En mettant simplement en liberté les ions de sa propre

matière ou ceux de la substance environnante sans imprimer à ces ions des vitesses initiales suffisantes pour qu'ils puissent traverser d'une manière immédiatement apparente des milieux solides. Il en est ainsi des flammes, étincelles, aigrettes, corps incandescents, etc. Cependant, le Dr Gustave le Bon a constaté la transparence de l'aluminium, même pour ces émanations.

2° En déterminant des projections initiales suffisamment accentuées pour fournir la représentation d'un faisceau doué des propriétés dont nous avons parlé, et capable lui-même d'ioniser le gaz ambiant.

Nous voyons ainsi que l'atome, qui semblait d'abord représenter la dernière limite de divisibilité naturelle de la matière, apparaît actuellement comme un édifice formé d'éléments incomparablement plus petits.

Ces éléments ne sont-ils pas eux-mêmes d'ordre supérieur par rapport à d'autres? Et ne nous acheminons-nous pas ainsi par degrés insensibles de la matière proprement dite vers l'éther ?

Bien des questions se posent encore qui se rapportent à un ordre de faits spécial, qui apparaissent comme surnaturels; tels sont les phénomènes de la vie, de la télépathie, du spiritisme, etc., qui ont probablement leur siège dans un milieu plus raffiné encore que l'éther lui-même, et qui tôt ou tard semblent devoir se rattacher au domaine de la physique.

Nous voyons qu'une combinaison ne peut s'effectuer que si la matière devient iodynamique, de manière à mettre les ions libres en présence.

C'est ainsi que s'expliquent les combinaisons produites par la lumière, par l'étincelle et à l'état naissant, ainsi que la radioactivité qui accompagne le phénomène de la combinaison, comme l'a reconnu le Dr Gustave le Bon.

Images latentes de la photographie. — Lorsqu'une substance se trouve soumise à une cause quelconque provoquant l'état iodynamique, il se peut que cette substance conserve cet état après que la cause a cessé d'agir. Il en résultera que, mise en présence de certains réactifs, elle aura acquis la faculté de subir des transformations chimiques, faculté qu'elle ne possédait pas

avant l'action iodynamisante. Les parties d'une plaque photographique exposées à la lumière sont iodynamisées et acquièrent la faculté de réagir sur le développateur, alors que les autres parties demeurent intactes.

Soudure. — Les belles recherches de M. Spring ont montré que les surfaces fraîches des métaux se soudent avec facilité par simple juxtaposition, conséquence nécessaire du mouvement ionique des surfaces en présence.

Cette soudure s'exécute, en général, avec d'autant plus de difficulté que le corps est moins conducteur. Le verre, par exemple, ne se soude pas.

Diffusion. — La diffusion dans les solides, également constatée par M. Spring, est la conséquence de l'état iodynamique; elle est très marquée dans les métaux; elle est faible ou nulle dans les diélectriques solides. C'est ainsi que si l'on soude un verre coloré à un verre qui ne l'est pas, la migration de la substance colorée ne se produit pas.

§ 2. — *Constitution des gaz, des liquides et des solides.*

Les considérations que nous venons de développer nous permettent-elles d'admettre l'hypothèse relative à la constitution des gaz telle qu'elle a été conçue par Bernouilli et Clausius, hypothèse si brillamment développée par Baltzmann dans ces derniers temps? Nous ne le pensons pas. Une particularité qui n'a pas suffisamment attiré l'attention se trouve tout à fait inexplicable si l'on admet que le gaz *sensiblement* parfait, soumis *sensiblement* à la loi de Mariotte et de Gay-Lussac, est composé de molécules, comparables à des corpuscules séparés les uns des autres et n'exerçant plus d'actions réciproques appréciables.

Puisque ces actions peuvent être considérées comme extrêmement faibles à des pressions de quelques centimètres de mercure, nous pouvons conclure que rien ne sera changé si nous poussons plus loin la raréfaction. La molécule sera toujours isolée sensiblement dans les mêmes conditions, *elle restera donc ce*

qu'elle était et rien ne se modifiera dans sa constitution. Or on sait qu'il n'en est pas ainsi : lorsque la pression devient extrêmement faible, le milieux gazeux devient iodynamique, la molécule se brise.

Tout devient, au contraire, explicable si l'on applique aux gaz la conception des tubes-tourbillons.

Concevons un gaz formé d'un grand nombre de tubes-tourbillons *ab*, *a'b'* (fig. 4), limités par la paroi du vase qui les renferme, orientés indifféremment suivant toutes les directions et constitués par la série d'ions ayant la forme que nous avons supposée.

Ces tubes ioniques sont animés d'une vitesse de rotation autour de leur axe. Lorsque deux tubes ioniques ayant des directions à peu près parallèles viennent à se heurter latéralement, ils rebondissent les uns sur les autres à peu près comme le feraient des billes élastiques animées de mouvements de rotation et qui viendraient à se rencontrer. Ce sont ces chocs latéraux qui déterminent la force expansive du gaz.

Représentons encore par v la vitesse d'un ion normale à l'axe d'un tube-tourbillon, par m sa masse, par mv la quantité de mouvement. La pression exercée sur la paroi du vase sera proportionnelle à $mv \times N$, N représentant le nombre de chocs, ou encore, si n représente le nombre des ions renfermés dans le vase, on aura, en suivant toujours le raisonnement classique,

$$P = nmv^2 \times \text{const.}$$

Remarquons encore que la vitesse v est proportionnelle à la vitesse de rotation de l'ion et que, dès lors, la température absolue est proportionnelle au carré de la vitesse de rotation de l'ion.

D'autre part, la section ou la surface de la projection s de l'électron est inversement proportionnelle à la force électromotrice (fig. 5).

Nous aurons donc

$$T = mv^r \times \text{const} = m\frac{1}{s^2} \times \text{const} = mE^2 \times \text{const.}$$

La température absolue sera donc proportionnelle au carré de la tension des électrons.

Chaque tube ionique *ab* est soumis à une tension dans le sens de la longueur à laquelle correspond la pression interne, qui tend à rapprocher les deux parois opposées. Et cela pour la même raison que deux surfaces électrisées de signes contraires s'attirent. Cette pression sera directement proportionnelle à la force électromotrice.

La pression exercée par un gaz imparfait sera donc représentée par l'équation

$$P_i = AE^2 - BE,$$

ou

$$P_i = MT - N\sqrt{T}.$$

Cette relation ne tient évidemment pas compte de la variation de distance des ions, qui détermine une diminution de la pression interne lorsque la température s'élève.

Cette équation représente les variations de pression avec la température, le volume étant constant.

Rapprochons-la de l'équation de Van der Waals :

$$\left(P + \frac{\Pi}{V^2}\right)(V - v) = AT,$$

ou

$$P = \frac{AT}{V - v} - \frac{\Pi}{V^2}.$$

Si nous supposons v constant, ce qui n'est pas absolument exact, car dans l'ancienne théorie les molécules se dilatent, et dans celle que nous proposons les tubes-tourbillons s'allongent, nous pouvons encore écrire

$$P = CT - D\Pi,$$

C et D représentant des constantes.

Nous voyons donc que la valeur de Π croîtrait proportionnellement à la $\sqrt{\ }$ de la température absolue si l'on ne tenait pas compte de l'allongement du tube-tourbillon.

Voici quelques valeurs de n pour CO_2 que nous extrayons d'un travail précédent [1] :

Température.	Valeur de π
258.	0,00529
198.	0,00500
100.	0,00517
60.	0,00527
40.	0,00535
30.	0,00536

Ces résultats sont évidemment encore insuffisants, mais cependant l'accroissement de π semble se manifester entre 198° et 258°, malgré l'accroissement de distance des éléments ioniques.

Dans les cas des gaz polyatomiques, le tube-tourbillon devrait être assimilable à une corde formée de plusieurs brins tordus.

Si la raréfaction atteint une certaine limite, les chaînes ioniques a, b, a', b' *se brisent et les ions α deviennent indépendants les uns des autres. A partir de ce moment, le gaz devient iodynamique et conducteur de l'électricité.* Ainsi se trouve réalisé l'état radiant de Crookes.

Il est curieux de remarquer que dans cet état ce gaz particulier correspond à la conception de Bernouilli et de Clausius.

Il est vraisemblable que dans l'état liquide les chaînes se ferment pour constituer des molécules annulaires, alors que la surface de ces corps est enveloppée par des filaments gyrostatiques, tels que *ab*, *a'b'*, et qui déterminent la tension superficielle. Dans l'état solide, ces filaments s'orientent suivant les directions qui correspondent aux faces cristallines.

Il est encore aisé de concevoir que la tension superficielle doit être une fonction de la force électromotrice, propriété qui a été mise en usage dans l'électromètre capillaire de Lipmann.

Nous voyons également qu'un accroissement de température détermine, d'une part, un allongement du tube tourbillon et, d'autre part, une diminution de diamètre.

[1] *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 1894, t. XXVIII, p. 46.

Si donc nous concevons une série de ces tubes orientés suivant la même direction, l'accroissement de température pourra déterminer une contraction normalement à l'axe des tourbillons et un allongement dans une direction perpendiculaire. Tel est le phénomène qui s'observe pour certains cristaux qui se dilatent dans la direction de leur axe cristallographique et se contractent suivant une direction normale à cet axe.

Si nous concevons les molécules liquidogéniques comme des vortex annulaires, nous voyons également le diamètre de ceux-ci diminuer à mesure que s'accroît la vitesse de giration ou la température. Telle serait la raison de la dilatation négative de l'eau, les liquides ne se dilatant en général que par suite d'une variation de constitution, c'est-à-dire d'une variation de masse des vortex.

L'eau est donc physiquement plus stable que les autres liquides, conclusion qui est en parfait accord avec ce fait que lorsque ce liquide subit une variation de pression, il prend instantanément le volume qui lui correspond.

CHAPITRE VIII.

Applications aux phénomènes astronomiques et météorologiques.

Rien n'est plus hypothétique que l'interprétation de cet ordre de phénomènes, qui sont difficilement comparables à ceux qui se produisent dans un laboratoire.

Afin de faire une comparaison vulgaire, rappelons la différence de résultats que le chimiste obtient généralement s'il opère en petit et si ensuite il veut appliquer ses résultats à l'industrie. Cette différence est incomparablement plus grande dans le domaine que nous examinons. Aussi a t-on vu de tous temps apparaître des théories plus ou moins étranges, admises on ne sait trop pourquoi. Peut-être uniquement par vénération du nom de leur auteur.

Électricité atmosphérique. — L'origine de l'électricité atmosphérique est actuellement inconnue; l'évaporation à la surface des mers ne paraît pas devoir en donner une explication suffisante, mais il est plus probable qu'elle est le résultat du frottement des couches d'air en mouvement, tant à la surface des terres qu'à la surface des eaux.

Les régions tropicales, qui sont le siège de vents réguliers, semblent dès lors tout indiquées pour la production de l'électricité qui correspondrait à ce développement de phénomènes orageux, qui, comme on le sait, deviennent de moins en moins fréquents à mesure qu'on s'approche des pôles. Les mouvements tournants de l'atmosphère qui s'observent dans ces régions correspondent du reste avec le caractère fondamental du phénomène électrique.

En résumé, le globe terrestre avec son atmosphère frottante se comporterait comme une simple machine à frottement, l'atmosphère s'électrisant en général positivement et la terre négativement.

Mais à mesure que l'on s'écarte de l'équateur, la cause qui détermine l'électrisation disparaît et la reconstitution tend à se

entretien à une cause semblable à celle du dégagement de chaleur de notre substance radioactive?

Ne peut-on pas admettre que de semblables manifestations se développent au sein de la masse solaire, causées par les pressions formidables qui y sont exercées?

Prenons la masse solaire dans un état d'accalmie. Le globe rayonne et perd de grandes quantités de chaleur; mais alors une contraction de la masse survient, les ions se rapprochent jusqu'au moment où le phénomène auquel nous venons de faire allusion est provoqué dans une certaine mesure, d'où production de taches et de protubérances, projections formidables, atteignant des vitesses excessives et fournissant le spectre électrique que Stas a observé.

Mais la chaleur ainsi développée ne tardera pas à écarter les ions à une distance telle que la conflagration prendra fin, que le grippement cessera. La période d'accalmie réapparaîtra, puis sera de nouveau suivie de la période éruptive.

Il est, de plus, évident que des frictions résultant de la différence de vitesse des masses en mouvement ne feront qu'activer le phénomène. Nous aurions ainsi l'explication d'une activité plus grande à l'équateur solaire que vers les pôles.

Supposons qu'à un moment donné certaines couches soient soumises à une pression et à une température convenables pour amener une déflagration. Les chocs qui en résultent ne tarderont pas à développer des pressions instantanées dans d'autres parties de la masse, qui, elles aussi, détermineront le même résultat; cette phase sera relativement rapide. Puis la période active diminuera peu à peu : phase de refroidissement relativement longue, destinée à ramener les mêmes phénomènes.

Les choses se passeront à peu près comme si un brasier, après s'être allumé rapidement, s'éteignait insensiblement.

Un travail très étendu de M. Simon Newcomb [1] nous apprend que la période du relèvement de la courbe d'activité solaire correspond à 4.62 ans, alors que la période d'abaissement correspond à 6.51 ans.

[1] *Astrophysical Journal*, janvier 1902.

Cependant, les choses en resteront-elles toujours là? Malgré ces fluctuations, la condensation du globe solaire s'accentuera de plus en plus, tout en favorisant la production des déflagrations dont nous venons de parler, et un moment pourra arriver où une grande partie de la matière du globe prendra part au phénomène et déterminera la catastrophe finale. Les éléments qui constituaient le Soleil seront alors projetés en tous sens avec la vitesse de l'éclair, comparable du reste à la vitesse de la lumière, et l'état nébulaire constituera ainsi la dernière phase de notre système.

Toute la matière solaire n'ayant pas nécessairement pris part au phénomène, une succession de maxima et de minima d'activité pourront encore se manifester et donner ainsi le spectacle que nous présentent les *Novae.*

En résumé, on peut conclure que tous les globes présentant une masse suffisante sont exposés à cette catastrophe. Mais la température à laquelle le phénomène aura lieu sera d'autant plus basse que la pression sera plus faible, que la masse de l'astre sera plus petite, car l'abaissement de température et l'accroissement de pression tendent à produire le même résultat.

L'état fragmentaire des uranolithes nous apparaît maintenant comme un corollaire de ce que nous venons de dire; l'explosion se produisant au sein d'une planète déjà refroidie à sa surface, projettera les fragments solides à des distances telles qu'ils cesseront d'être dans le rayon de la sphère d'activité sensible de la masse primitive.

Ne pourrait-on attribuer à une semblable cause la production des petites planètes? Une hypothèse semblable a déjà été faite, mais c'est à la mécanique céleste à résoudre la question de savoir si cette hypothèse ne soulève pas quelque difficulté, ou bien si la planète primitive a pu se comporter après la catastrophe ainsi que le fait la comète Biela, qui égrène pour ainsi dire sa matière le long de son orbite.

CONCLUSION

Notre but a été de tâcher d'établir un canevas de la théorie mécanique de l'électricité, de même qu'il existe un canevas de la théorie de la lumière.

Pour ce dernier agent, cette base peut se formuler en disant que *l'impression lumineuse est déterminée par une vibration;* cela est intéressant pour *tout le monde.* Mais on peut broder sur ce canevas bien des théories; à en croire les analystes, elles seraient même en nombre infini!

De même pour ce qui concerne l'électricité, le canevas est représenté par la proposition : *L'élément matériel est constitué par un système gyrostatique aspirant et foulant, l'aspiration correspondant à la manifestation électrique négative, le refoulement à la manifestation électrique positive.*

Sur celui-ci, il sera possible d'exécuter des broderies beaucoup plus fines et plus artistiques que celle représentée par cette première ébauche que nous soumettons en ce moment au public.

Plusieurs points de ces développements devront, sans aucun doute, subir des modifications, le processus de l'établissement d'une théorie par voie de synthèse étant complètement différent du processus de l'établissement d'une théorie purement mathématique. Ce n'est que progressivement que les premières se rapprochent de la vérité, à l'opposé des secondes. L'exemple le

plus frappant de cette vérité se trouve dans l'évolution des théories atomistiques de la chimie, qui ne présentent pas seulement une portée philosophique, mais qui ont aussi contribué largement à l'accroissement du bien-être matériel de ceux qui ne leur ont pas opposé un scepticisme outré. Nous avons la conviction profonde que l'électricité n'est pas une entité, et que la base que nous proposons est aussi inéluctable pour ce qui concerne la théorie de cet agent que l'idée de la vibration est inéluctable pour ce qui concerne la théorie de la lumière.

L'électricité, qu'elle soit positive, neutre ou négative, est un fluide dont la quantité a pour mesure le nombre d'électrons qu'il renferme.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

AVANT-PROPOS 3

INTRODUCTION 5

CHAPITRE PREMIER.

Phénomènes dits électrostatiques.

§ 1. Hypothèses 11
§ 2. L'électrisation par friction. 13
§ 3. L'électrisation par contact. 14
§ 4. Champ électrostatique 15
§ 5. L'influence électrostatique. 16
§ 6. L'induction électrostatique. 18
§ 7. Le courant. 24
§ 8. Machines électriques 24
§ 9. Les diélectriques ou les substances aniodynamiques. . . . 28
§ 10. Les conducteurs ou les substances iodynamiques. 29
§ 11. Le phénomène de l'influence dans les diélectriques 31
§ 12. Justification des hypothèses fondamentales 32
§ 13. Particularités de l'étincelle et figures électriques. 37

CHAPITRE II.

Phénomènes électromagnétiques.

§ 1. Le courant. 41
§ 2. Force d'entraînement longitudinale d'un conducteur parcouru par un courant 43
§ 3. Force électromotrice, intensité, résistance. 44
§ 4. Production des courants par contact, ou les courants thermo-électriques 46
§ 5. L'induction électromagnétique. 47
§ 6. Magnétisme et diamagnétisme 50
§ 7. Perméabilité magnétique 51

Pages.

§ 8. Origine des attractions et des répulsions électromagnétiques . 52
§ 9. Perméabilité électrostatique et électromagnétique 54
§ 10. Production des courants par induction. 55
§ 11. Induction monométallique. 56
§ 12. Courants de convexion. 59
§ 13. Les oscillations électriques 61

CHAPITRE III.

La radioactivité et l'infra-électricité.

§ 1. Définition de la radioactivité 71
§ 2. Influence du raccordement du champ sur la vitesse de décharge. 72
§ 3. Diverses sources radioactives 72
§ 4. L'infra-électricité 73
§ 5. L'asymétrie des pôles. 83

CHAPITRE IV.

Les rayons dits cathodiques et l'électrolyse.

§ 1. Nature des rayons cathodiques. 86
§ 2. Forme du courant rendue directement visible. Cause de la production des rayons cathodiques. Propriétés diverses . . 88
§ 3. L'électrolyse 97

CHAPITRE V.

Les courants à extrême fréquence ou les courants calorifiques.

§ 1. Introduction à la théorie électromagnétiqne du calorique . . 103
§ 2. La conductibilité calorifique, le pouvoir absorbant et la couleur des corps. 111
§ 3. Électrisation produite par la variation de température des cristaux 117

CHAPITRE VI.

Oscillations de l'éther, action du champ magnétique et suite de la radioactivité 119
Suite de la radioactivité. — Ionisation produite par les radiations 127

CHAPITRE VII.

Réflexions sur la constitution de la matière.

Pages.

§ 1. Constitution de l'atome et de la molécule 131
§ 2. Constitution des gaz des liquides et des solides. 135

CHAPITRE VIII.

Applications aux phénomènes astronomiques et météorologiques 141
Production des « Novae » et périodicité de l'activité solaire 143

Conclusion 147

JAN 18 1